

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TÍTULO DE LA TESIS:

**“OBTENCIÓN DE DENSIDADES APARENTES DE LOS COMPONENTES DE
MAYOR GENERACIÓN DENTRO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES
EN LA CIUDAD DE CUENCA”**

Tesis De Grado Previo A La Obtención
Del Título De Ingeniero Ambiental

AUTORES:

PILLAGA AGUALEMA LUIS MARCELO

POMAQUIZA POMAQUIZA DIEGO ARMANDO

DIRECTOR: ING. JUAN FERNANDO CISNEROS RAMOS, MSC

CUENCA – ECUADOR

2015



RESUMEN

El presente proyecto busca solucionar uno de los principales problemas de la caracterización del contenido de residuos sólidos municipales (RSM) por el método de fotogrametría, la carencia de densidades y/o pesos unitarios aplicables a la zona de caracterización. La recolección y tratamiento de residuos sólidos municipales es un proceso complejo que requiere de gran cantidad de información base con la cual iniciar el proceso de diseño. Esta información se obtiene mediante la caracterización de los RSM.

En la actualidad la Empresa Municipal de Aseo de Cuenca (EMAC-EP) realiza sus caracterizaciones de forma manual. Esta técnica, sin embargo, tiene el potencial de causar lesiones y enfermedades al personal que realiza esta caracterización, pues se ignora los tipos de materiales que estarán presentes así como sus características físicas, químicas y biológicas.

Para contrarrestar este problema ha sido desarrollada la técnica de caracterización por fotogrametría. Esta técnica se basa en la utilización de orto fotografías de alta definición, y requiere el conocimiento preciso de pesos unitarios y densidades de materiales de alta presencia en RSM que desechan en esta ciudad. Esta técnica minimiza el contacto directo con los desechos al analizar las fotografías en la comodidad de una oficina.

La información obtenida será presentada en una tabla de densidades aparentes y/o pesos unitarios. Esta información será contrastada con datos de la literatura académica luego de una revisión bibliográfica íntegra.

Palabras claves: Residuos Sólidos Municipales, Caracterización fotogramétrica, Densidad aparente, Pesos unitarios.



ABSTRACT

The present project finds to solve one of the most important problems in the characterization of the municipal solid waste (MSW) by the photogrammetry method, the density lack, and, weight units able to apply in the characterization zone. The collection and processing of municipal solid waste is a complex process that requires lots of basic information with which to start the design process. This information is obtained by means of the characterization of the MSW.

In the actuality the public cleaning company in Cuenca (Empresa Municipal de Aseo de Cuenca, EMAC- EP), make their characterization in a manual way, where staff separates the waste into the previously selected categories. This technique, however, has the potential to cause injury and illness to personnel performing this characterization, because the types of materials that will be present as well as their physical chemical and biological characteristics are ignored.

To resist this problem the characterization skill has been developed by photogrammetry. This technique relies on the use of ortho photos in high definition, and requires precise knowledge of unit weights and high densities of materials present in MSW disposed in this city. This technique minimizes the direct contact with the waste to analyze the photographs in the comfort of an office.

The information obtained will be presented in a table of apparent densities and / or unit weights. This information will be contrasted with data from the academic literature after a full literature review.

Keywords: Municipal Solid Waste, Photogrammetric characterization, Bulk density, Unit weights.



ÍNDICE DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	14
2	OBJETIVOS.....	17
3	MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	17
4	METODOLOGÍA	22
4.1	CARACTERIZACIÓN.....	22
4.1.1	CARACTERIZACIÓN MANUAL.....	24
4.1.2	CARACTERIZACIÓN FOTOGRAMÉTRICA.....	25
4.2	MEDICIONES DE DENSIDADES.....	28
4.3	MEDICIONES DE PESOS UNITARIOS.....	31
4.4	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	34
5	RESULTADOS.....	36
5.1	CARACTERIZACIÓN MANUAL Y FOTOGRAMÉTRICA.....	37
5.2	CARACTERIZACIÓN FOTOGRAMÉTRICA USANDO DATOS DE LA LITERATURA.....	39
5.3	COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	41
5.4	NUEVAS DENSIDADES Y PESOS UNITARIOS.....	43
5.5	CARACTERIZACIÓN FOTOGRAMÉTRICA USANDO DENSIDADES Y PESOS UNITARIOS OBTENIDOS.....	53
5.6	COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LAS NUEVAS DENSIDADES Y PESOS UNITARIOS OBTENIDOS.....	56
5.7	COMPARACIÓN DE LA CARACTERIZACIÓN FOTOGRAMÉTRICA OBTENIDA CON LAS TABLAS DEL ESTUDIO Y DE LA LITERATURA.....	58
6	CONCLUSIONES.....	60
7	RECOMENDACIONES.....	65
8	BIBLIOGRAFÍA.....	66



9	GLOSARIO DE TERMINOS.	69
10	ANEXOS.	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Categorías para el análisis.	23
Tabla 2: Lista de artículos de los cuales se determinaron los pesos unitarios. ---	32
Tabla 3: Lista de envases de las cuales se determinó los pesos.	33
Tabla 4: Tipos de materiales constituyentes para envases plásticos.	34
Tabla 5: Representación de las categorías para la comparación.	36
Tabla 6: Resultados de la caracterización manual.	38
Tabla 7: Resultados de la caracterización fotogramétrica utilizando las densidades y pesos unitarios de la literatura.	40
Tabla 8: Resultados de la comparación entre la caracterización manual y la caracterización fotogramétrica.	42
Tabla 9: Pesos unitarios y densidades de los diferentes artículos plásticos.	44
Tabla 10: Pesos unitarios de los diferentes artículos de papel.	46
Tabla 11: Pesos unitarios de los diferentes artículos de cartón.	47
Tabla 12: Densidades y pesos unitarios de metales no ferrosos.	47
Tabla 13: Densidades y pesos unitarios de los metales ferrosos.	48
Tabla 14: Densidades y pesos unitarios de la madera.	49
Tabla 15: Densidades y pesos unitarios de los envases y artículos de vidrio.	50
Tabla 16: Densidades de los desechos de construcción.	50
Tabla 17: Pesos unitarios de los desechos electrónicos.	51
Tabla 18: Pesos unitarios de los diferentes tipos de textiles.	51
Tabla 19: Densidades y pesos unitarios de los materiales que no se encuentran en las demás categorías.	52
Tabla 20: Densidad y pesos unitarios de los orgánicos.	53
Tabla 21: Densidades y pesos unitarios obtenidos en el estudio utilizado para la fotogrametría.	54



Tabla 22: Caracterización fotogramétrica usando las densidades y pesos unitarios del estudio.-----	55
Tabla 23: Resultados de la comparación entre la caracterización manual y la caracterización fotogramétrica.-----	57
Tabla 24: Resultados de la comparación entre la caracterización manual y la caracterización fotogramétrica.-----	59

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Método del Cuarteo.-----	24
Figura 2. Aplicación del Método de Cuarteo.-----	25
Figura 3. Procedimiento para calcular las áreas de los artículos.-----	26
Figura 4. Diferenciación de las categorías por colores-----	27
Figura 5. Procedimiento para la obtención de las densidades mediante el picnómetro.-----	30
Figura 6. Determinación de los pesos y dimensiones de los diferentes artículos.	31

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Composición de la muestra de los 9,4 kilogramos.-----	39
Gráfico 2. Resultado de la caracterización fotogramétrica utilizando las densidades y pesos unitarios de la literatura.-----	41
Gráfico 3. Comparación de los resultados de la Caracterización manual vs Caracterización fotogramétrica utilizando información de la literatura.-----	43
Gráfico 4. Resultado de la caracterización fotogramétrica utilizando las densidades y pesos unitarios del estudio.-----	56
Gráfico 5. Comparación de los resultados de la Caracterización manual vs Caracterización fotogramétrica utilizando la información del estudio.-----	58



Gráfico 6. Comparación de la caracterización fotogramétrica utilizando los datos de la literatura vs caracterización fotogramétrica utilizando los datos del estudio. 60

ANEXOS.

Anexo A. Densidades y pesos unitarios utilizados para la caracterización fotogramétrica obtenidas por Worrell en el 2011. -----	71
Anexo B. Fortuitos de Densidades y Pesos Unitarios-----	73
Anexo C. Caracterización fotogramétrica utilizando las densidades y pesos unitarios obtenidos en el estudio. -----	81
Anexo D. Caracterización fotogramétrica utilizando las densidades y pesos unitarios disponibles en la literatura. -----	82



Yo, Diego Armando Pomaquiza Pomaquiza, autor de la tesis OBTENCIÓN DE DENSIDADES APARENTES DE LOS COMPONENTES DE MAYOR GENERACIÓN DENTRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN LA CIUDAD DE CUENCA, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Ambiental. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 10 de Marzo del 2015

Diego Armando Pomaquiza Pomaquiza.

C.I: 0302425004



Yo, Luis Marcelo Pillaga Agualema, autor de la tesis OBTENCIÓN DE DENSIDADES APARENTES DE LOS COMPONENTES DE MAYOR GENERACIÓN DENTRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN LA CIUDAD DE CUENCA, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Ambiental. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 10 de Marzo del 2015

Luis Marcelo Pillaga Agualema

C.I: 0302568688



Yo, Diego Armando Pomaquiza Pomaquiza, autor de la tesis OBTENCIÓN DE DENSIDADES APARENTES DE LOS COMPONENTES DE MAYOR GENERACIÓN DENTRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN LA CIUDAD DE CUENCA, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 10 de Marzo del 2015

Diego Armando Pomaquiza Pomaquiza.

C.I: 0302425004



Yo, Luis Marcelo Pillaga Agualema, autor de la tesis OBTENCIÓN DE DENSIDADES APARENTES DE LOS COMPONENTES DE MAYOR GENERACIÓN DENTRO DE RESÍDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN LA CIUDAD DE CUENCA, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 10 de Marzo del 2015

Luis Marcelo Pillaga Agualema

C.I: 0302568688



AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer primero a Dios por haberme permitido culminar con el ideal de culminar con los estudios Universitarios, a mis padres quienes con esfuerzo, dedicación y amor incondicional han hecho de mi un hombre de valor y lucha por conseguir sus sueños y metas, al Ing. Juan Fernando Cisneros tutor y director de la tesis quien nos ha ayudado y colaborado con su experiencia y ha tenido la voluntad para guiarnos de la mejor manera. Finalmente quiero agradecer a todos quienes de una u otra manera hicieron posible la culminación de este proyecto.

Pillaga Marcelo

A mis padres porque siempre me han estado apoyando en las buenas y en las malas, inculcándome a no rendirme nunca.

A dios por estar en todo momento protegiéndome y dándome fuerzas para poder cumplir todas mis metas.

Pomaquiza Diego



DEDICATORIA

La concepción de este trabajo de investigación está dedicada a Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo en todo momento, guiándome, cuidándome y dándome fortaleza para continuar. A mis padres quienes a lo largo de mi vida, han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su eterna confianza, en cada reto que se me ha presentado. Es por ello que he podido ir avanzando y llegar a cumplir mis sueños.

Pillaga Marcelo

A mis padres por ser un pilar fundamental en mis metas, porque siempre creyeron en mí y nunca dudaron de mis capacidades.

A mi hermano Moisés, por darme esa motivación de lucha para poder seguir adelante ayudándome a enfrentar las adversidades de la vida con mucha fe. Venciste a la muerte y me llenaste de esas ganas de seguir luchando por mis sueños.

Pomaquiza Diego





OBTENCIÓN DE DENSIDADES APARENTES DE LOS COMPONENTES DE MAYOR GENERACIÓN DENTRO DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN LA CIUDAD DE CUENCA

1 INTRODUCCIÓN

Los residuos sólidos municipales constituyen un problema para muchas ciudades así como para el conjunto de la población mundial, debido al crecimiento poblacional, las actividades humanas y el consumismo han incrementado la generación de desechos sólidos municipales, afectando a la salud de las personas, la contaminación ambiental y la calidad de vida de todos los seres vivos. Según la Organización de las Naciones Unidas ONU en el estudio World Population Prospects (Perspectivas de la Población Mundial), la población mundial alcanzó los 7.200 millones de habitantes en el 2013. La generación de RSM ocurre en relación directa con el aumento o disminución poblacional y el nivel de actividad económica. Esta situación lleva consigo a realizar estudios que nos ayude a tratar los desechos generados con el objetivo de evitar problemas ambientales causados por la excesiva generación de residuos sólidos.

Según la Comisión Económica para América Latina (CELADE) en el 2005, la población de Latino América y el Caribe se aproxima a los 967 millones de habitantes. Esto implica un aumento en la generación de residuos sólidos municipales (RSM) lo que da una visión clara para realizar mejoras en su gestión.

El Ecuador, al igual que otros países, esencialmente los países en vías de desarrollo, han soportado un problema progresivo y con un grave impacto al ser humano y al ambiente, como es la sobreproducción de los RSM, debido principalmente al crecimiento demográfico. Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en el censo del 2010 la población del Ecuador fue de 14'483,499 habitantes con una progresión para el 2014 de 16'027,466 habitantes. Otro de los factores agravantes de este problema recae en el



crecimiento industrial, la migración de la población rural hacia las ciudades y los malos hábitos de consumo de la población.

La producción de Residuos Sólidos Municipales per cápita promedio en todo el Ecuador fue de 0,73 kg/ día con una producción anual de 4'139,512 Ton/año según datos del Ministerio de Ambiente para el año 2013. Esta problemática ambiental originado por la sobreproducción de los Residuos Sólidos Municipales, ha motivado a que las autoridades hayan instaurado normas que obliguen a los Gobiernos Autónomos Descentralizados a establecer un sistema apropiado para la gestión.

De esta forma en la ciudad de Cuenca, mediante la Empresa Municipal de Aseo (EMAC-EP), ha establecido un programa de Gestión Integral de los Desechos Sólidos, en el cual se motiva a la ciudadanía a la *“reutilización y reciclaje de los residuos sólidos en los lugares donde se generan y a la adopción de medidas que nos permitan evitar que se generen”*.

Dentro de la gestión de los residuos sólidos municipales (RSM), se requiere un conocimiento preciso del contenido de los diferentes tipos de desechos, ya que es una información imprescindible para determinar el tratamiento idóneo de cada categoría, para saber la cantidad de cada desecho que se está generando, además es un dato técnico sumamente importante que nos genera la suficiente información para mejorar la operatividad de cualquier sistema de gestión de residuos sólidos. El método comúnmente utilizado es la caracterización manual, esta es una técnica muy empleada por su sencillez y representatividad.

Sin embargo, esta actividad tiene el potencial de poner en riesgo de enfermedades y lesiones al personal caracterizador, ya que van a estar en contacto con todo tipo de residuos de carácter físico, químico o biológico, además de producir molestias visuales y olores desagradables por la presencia de residuos en descomposición.



Para evitar estos inconvenientes se puede utilizar un método denominado fotogrametría, el cual se basa en la identificación de artículos a través de fotografías de alta resolución. La principal ventaja de esta técnica es el mínimo contacto con los desechos, ya que la identificación se puede realizar con trabajo de gabinete, al usar tablas preestablecidas de pesos y densidades de los artículos más comunes de los Residuos Sólidos Municipales. Además, si este método se emplea, se reducirían sustancialmente los costos de identificación por el bajo requerimiento de personal. Una sola persona podría caracterizar una muestra completa en contraste con un grupo de cinco personas que usualmente son empleadas durante una típica caracterización manual.

La obtención de densidades y pesos unitarios propios de una región es imprescindible para incorporar el método fotogramétrico a las actividades comunes de caracterización de residuos, con la finalidad de incrementar la precisión y representatividad de los datos que se obtienen. Con las nuevas densidades y peso unitarios la caracterización fotogrametría es más precisa, ayudando a identificar la cantidad de cada tipo de material que se genera dentro de los residuos sólidos municipales de la ciudad de Cuenca.

Este estudio se centra en obtener las densidades y pesos unitarios de los artículos de mayor generación en los Residuos Sólidos Municipales de la ciudad de Cuenca y verificar la exactitud del uso de las densidades y/o pesos unitarios de las diferentes fuentes bibliográficas.

Así mismo, en el presente documento se va a resumir investigaciones que se obtuvieron por una revisión bibliográfica importante Capítulo 3, igualmente se tratará sobre la metodología usada tanto para determinar los pesos unitarios como las densidades de los diferentes desechos sólidos Capítulo 4 y los resultados que se obtuvieron se presentan en el Capítulo 5.



2 OBJETIVOS

- Definir la lista de artículos comunes en los RSM del cantón Cuenca de los cuales se analizarán las densidades y/o pesos unitarios.
- Calcular las densidades aparentes y/o pesos unitarios de cada uno de los artículos enlistados.
- Comparar las densidades obtenidas con las encontradas en la literatura académica.

3 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.

En el Ecuador se han implementado varios programas y proyectos con el fin de gestionar los desechos sólidos municipales y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos (MAE, 2014). Una de las provincias consideradas como pioneras en la protección del ambiente urbano es la provincia de Loja. Según Alfredo Loor Mera, en su trabajo sobre el Diagnóstico de la Situación Ambiental Actual de Manejo de los Desechos Sólidos en Loja publicado en el 2009, afirma que uno de los problemas que presentaba la provincia eran los niveles altos de contaminación ambiental, condiciones insalubres y altos índices de enfermedades contagiosas, provocados por la disposición de los desechos sólidos municipales en vertederos a cielo abierto.

Para dar solución a este problema, el municipio de Loja ejecutó el programa de Gestión Integral de los Desechos Sólidos. Este programa contempla aspectos de educación cívica, creación de incentivos para los consumidores y ofrece un fondo anual a aquellos municipios con mejores prácticas en el tema. Además, se construyó un vertedero controlado y se procedió con una recolección selectiva de desechos biodegradables y no biodegradables.

Con este programa se logró una importante disminución de la contaminación en el entorno de la ciudad de Loja, una mejora en las condiciones sanitarias y una mayor conciencia ambiental de los ciudadanos.



Otra estrategia adoptada por el municipio de Loja, según Pablo Adrián Chamba Bustán en su trabajo sobre Análisis Estadístico de Producción de Residuos Sólidos Urbanos y Reciclaje en el Relleno Sanitario de la Ciudad de Loja publicado en el 2011, fue la implementación de técnicas de reciclaje o reutilización antes de la disposición final, obteniendo un 34,32% de material recuperado, este valor tan bajo se debe a que la mayoría de los desechos están contaminados, mientras que en el 2008 el 93,73% de todos los desechos recolectados fueron enviados al relleno sanitario

Otro caso que vale destacar, es la de las Islas Galápagos, que a pesar de su pequeña extensión, supo implantar un sistema óptimo de gestión de los desechos sólidos. Según la World Wildlife Fund (WWF), en su trabajo sobre Plan de Manejo de Desechos para las Islas Galápagos publicado en el 2010, establece algunos problemas provocados por la sobreproducción de los desechos sólidos. Los desechos recolectados eran vertidos en botaderos, sin un tratamiento previo, la putrefacción prolongada de los desechos, provocó malestar en la población, además de generar un impacto visual negativo y de ser un foco de contaminación para la vida silvestre nativa.

Las medidas que se tomaron para contrarrestar estos impactos, se iniciaron en la Isla Santa Cruz, con la creación de un sistema de reciclaje. Con fondos de la Unión Europea se construyó una planta de reciclaje y un área de compostaje. Además, se ejecutaron actividades con el fin de mejorar el sistema de recolección, como la participación de la ciudadanía en la separación de los desechos desde la fuente. Con estas actividades se logró la disminución de la producción per cápita de los desechos de 0,62 kg/día a 0,4 kg /día. La aplicación de técnicas de separación desde la fuente ayuda a disminuir la disposición de los desechos sólidos municipales en botaderos y rellenos sanitarios ayudando así a obtener desechos que se pueden reutilizar y reciclar.



Para poder identificar de mejor manera los desechos que se están generando, se requiere saber las características de los mismos, esta acción se ejecuta con la caracterización de los desechos sólidos generados.

Una metodología desarrollada para caracterizar los residuos sólidos municipales es la caracterización fotogramétrica, proceso que minimiza el contacto directo con los desechos sólidos municipales en contraste con la caracterización manual. La adopción de este método requiere el uso de las densidades y pesos unitarios de los componentes de los desechos sólidos; las comúnmente utilizadas son las que se encuentran disponibles en las tablas publicadas por Worrell en el 2011. No obstante, la representatividad y precisión de este método es un una base de apoyo importante para nuestro medio, debido a que las densidades y pesos unitarios fueron calculados en países y regiones con sistemas de producción y tecnologías totalmente diferentes, pero algunos casos las densidades y/o pesos unitarios de sus desechos no se pueden comparar con los encontrados en la ciudad de Cuenca.

La fotogrametría es una de las mejores alternativas para anular este problema, pues ofrece ventajas que solventan los inconvenientes que trae consigo la caracterización manual. Entre ellas, caben destacarse: las fotografías permitirán obtener imágenes precisas de los distintos tipos de residuos que se están analizando, además proporcionan una información visual de todo el conjunto de componentes que están dentro de la fotografía. La toma de datos puede realizarse sin contacto físico con el objeto; la precisión de la toma de datos es homogénea, según los usos que se van a dar a este método.

En la actualidad la fotogrametría tiene muchas aplicaciones en Ingeniería y Topografía. Por ejemplo, en el campo de la ingeniería de carreteras se emplea extensamente, primero la fotointerpretación en la zona del ante proyecto, para posteriormente elaborar los planos y las secciones transversales necesarias para



el conocimiento del terreno, otro caso la fotogrametría se utiliza en la caracterización de desechos sólidos generados evitando el contacto físico con los mismos y ayudando a la identificación de la cantidad de desechos que se generan (Braulio, 2005).

La caracterización fotogramétrica evita el contacto directo con los residuos sólidos generados, disminuye la cantidad de personas requeridas para realizar la caracterización y ayuda al desarrollo de un diseño adecuado de los rellenos sanitarios, ya que identifica la cantidad de cada tipo de residuo que se está generando en los residuos sólidos municipales.

Algunas investigaciones han sido realizadas para determinar las densidades aparentes de los residuos sólidos. Las que se citan a continuación, serán tomadas como base para este estudio:

Valenzuela en 1998, con el objetivo de determinar la densidad aparente del compost a partir de desechos domiciliarios y heces de animales colocó la muestra en un dispositivo de cilindros metálicos (7,7 cm de diámetro), dejó 24 horas a saturación con agua destilada y luego se sometió a una succión de una columna de 10 cm de altura de agua en un recipiente con arena saturada durante 48 horas. Finalmente el cilindro se pesó en húmedo y luego se determinó el peso seco (105 °C durante 24 horas). Luego de los análisis se obtuvo una densidad aparente de 0,329 g/cm³.

En el año 2010, Pierini determinó la densidad aparente del compost a partir de restos vegetales provenientes de residuos de la poda de municipios de la zona periurbana al norte de la ciudad de Buenos Aires. El procedimiento para determinar la densidad aparente consistió en humedecer el material vegetal para el compostaje, luego se colocó en hileras estáticas con cubierta plástica y con ventilación artificial. Después de tres meses se acomodó en pilas de estabilización y al finalizar el período de maduración se tamizó el producto, luego se tomaron

dos muestras de las pilas (M1) y otra en mayo de 2009 (M2) y se colocaron en bolsas para su posterior análisis obteniendo una densidad aparente promedio de $0,38 \text{ gr/cm}^3$ de la muestra uno (M1) y de la muestra dos (M2) de $0,37 \text{ g/cm}^3$ de compost seco a 70°C .

Del Val Melus en 1985, estableció un procedimiento para tratar los plásticos antes de calcular su densidad aparente, con el fin de incorporarlos a los materiales de construcción de firmes (carreteras) o al hormigón. Los plásticos utilizados fueron PVC (botellas) y polímeros de baja densidad (bolsas, fundas, envoltorios, etc.), estos plásticos fueron recuperados del vertedero de Valdemingómez (Madrid) como parte integral del tratamiento de residuos sólidos. Los plásticos fueron separados del resto de residuos sólidos y sometidos a un troceado en un molino desgarrador, de tal forma que el material resultante fueron trozos cuadrados de unos 3,5 cm de lado.

Los trozos de plástico estuvieron contaminados con otros residuos tales como polvo y grasas, por lo que se requirió de un lavado previo. Una vez que los trozos estaban limpios, pasaron a otro molino desgarrador en el cual durante unos minutos la acción mecánica se combinaba con una corriente de aire caliente, el resultado era un conjunto de virutas de plástico.

El autor afirma que una forma de obtener las características físicas de los plásticos, en este caso su densidad aparente, es tratar al plástico como un árido, es por esta razón que se lo tritura y limpia para eliminar impurezas. El resultado que se obtuvo es una densidad aparente de $0,255 \text{ g/cm}^3$. (Val Melus, 1985)

En una investigación realizada por Guerrero y Polo en el 2005 se determinó la densidad aparente del compost de la corteza de pino previamente triturada, a la cual se adicionó varios materiales compostados provenientes de residuos sólidos urbanos. Este proceso se realizó con la fracción orgánica separada de basura domiciliaria: compost de lodo de las aguas residuales urbanas y el compost de



lodo granulado. El objetivo de este estudio fue evaluar diferentes mezclas formuladas con el compost de pino y otros desechos orgánicos que se pueden utilizar como sustratos para la producción de plantas ornamentales.

4 METODOLOGÍA

En la presente investigación se muestra la técnicas que se emplearon para realizar los cálculos de las densidades aparentes y pesos unitarios de los diferentes artículos, los procedimientos para la caracterización manual y fotogramétrica y la manera cómo se compararon los resultados obtenidos.

Por lo anterior, para calcular las densidades aparentes de los diferentes artículos, simplemente se midió su volumen y su respectiva masa.

Respecto a los artículos irregulares cuyo volumen sea de difícil determinación (ej. materia orgánica), se empleó el método del picnómetro, el cual está basado en el principio de Arquímedes.

4.1 Caracterización.

La caracterización de los residuos nos permite conocer las proporciones de cada tipo de residuos dentro de una mezcla, ya sean estos plásticos, orgánicos, metales, etc. Esto nos brinda la posibilidad de planificar acciones para el tratamiento de los residuos sólidos, así como encontrar las soluciones más apropiadas a los problemas que se presentan en las operaciones básicas de almacenamiento, recolección, transporte y disposición final, evitando el deterioro de la calidad ambiental y la salud de las personas. (López, 2007)

Con el propósito de conocer el contenido de las diversas categorías de desechos con respecto a una mezcla del mismo, se usaron principalmente dos métodos. El método manual, mediante el cual se obtienen datos reales del contenido de una muestra de residuos sólidos municipales, en otros términos, los pesos de las diferentes categorías van a ser mucho más precisos y representativos.

El segundo método se denomina fotogrametría, con el cual obtenemos los pesos de cada categoría con un grado mayor de incertidumbre, debido a que los artículos de cada categoría se identifican a través de una fotografía de alta resolución, dichos artículos no se pueden apreciar en su totalidad, ya que en algunos casos están cubiertos unos con otros.

Para facilitar la caracterización, todos los artículos se clasificaron en categorías diferenciados entre sí de acuerdo al material que lo conforma, cada una de ellas están constituidas por diferentes tipos de artículos, por ejemplo, la categoría de papel y cartón está constituida por papel bond de diferentes tamaños, piezas de cartón, periódico, revistas, etc. Las cuales se ilustradas en la *Tabla 1*.

Tabla 1: Categorías para el análisis.

CATEGORÍAS
Desechos de jardín
Desechos electrónicos
Madera
Materia orgánica mixta
Metal
Otros
Papel y cartón
Plásticos
Textiles
Vidrio

Las categorías expuestas están plasmadas en base a las tablas de Worrell publicadas en el 2011, para que exista similitud al momento de comparar los resultados. La categoría correspondiente a Otros, fue definida así para identificar a los artículos que no se encuentran dentro de las demás categorías.

4.1.1 Caracterización Manual.

La caracterización manual consiste en separar los Residuos Sólidos Municipales en diferentes categorías ilustradas en la *Tabla 1*.

Para lo cual se requiere tomar una muestra representativa. Los desechos se separan en categorías y cada una de ellas es pesada y relacionada con el peso total de la mezcla, obteniendo los resultados en unidades de porcentaje.

En la *Figura 1* se muestra el método del cuarteo, que comúnmente se aplica con el propósito de obtener una muestra representativa de los residuos sólidos municipales y que todos los desechos estén visibles dentro de la fotografía para realizar la caracterización apropiadamente. Este método consiste en esparcir la muestra en una superficie conocida, dividir en cuatro partes iguales y eliminar los lados opuestos, el procedimiento se repite hasta obtener el volumen deseado.

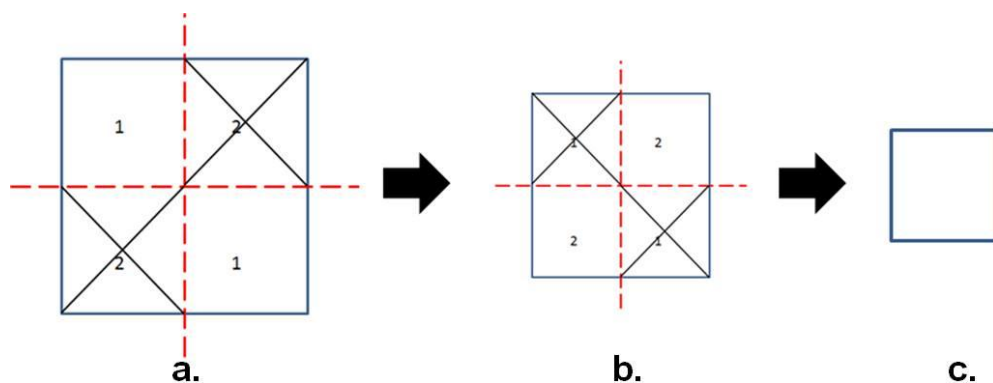


Figura 1. Método del Cuarteo.

Para el estudio se tomó una muestra de 20 kg, el cual se esparció en una superficie de 1,5 x 1,5 metros, dando un área de 2,25 m² *Figura 2*. La pila aplanada se dividió en cuatro partes iguales, se retiró los dos lados opuestos, incluyendo todo el material fino. La cantidad de material retirado fue de 10,6 kg quedando 9,4 kg para la separación por categorías.



Figura 2. Aplicación del Método de Cuarteo.

En la investigación no se completó el procedimiento del cuarteo, se realizó solo la primera parte, debido a que la muestra no fue suficiente.

4.1.2 Caracterización Fotogramétrica.

La fotogrametría se basa en la identificación de artículos a través de fotografías de alta resolución, usando un lente gran angular tomada perpendicularmente sobre la muestra. Por lo anterior, la fotografía se tomó de la muestra final de 9,4 kg, resultante del proceso del cuarteo *Figura 2*.

Para transformar en valores de peso, de cada artículo identificado se requiere obtener el espacio ocupado dentro de los 2,25 m², esto es, el área que ocupa una botella, materia orgánica mixta, papel, etc. Además del espacio ocupado, debe tener una densidad o un peso unitario. Esta información es fundamental para el cálculo del peso, la manera o forma con la que se realizan los cálculos, va a depender de las unidades en las que vienen expresados esta información, a saber, si es densidad o peso unitario.

Las áreas se obtuvieron con la ayuda de un software de diseño asistido por computadora (CAD), versión 19.1. En la *Figura 3* se muestra el procedimiento para obtener las áreas de los diferentes artículos. En donde:

- Se ajusta la imagen a las dimensiones de 1,5 x 1,5 metros.
- Graficar un polígono alrededor del artículo identificado.
- Se obtiene un polígono con la forma de artículo.
- Con el comando *MEDIR* se procede a obtener el área del artículo.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3. Procedimiento para calcular las áreas de los artículos.

De esta manera se procedo con todas las categorías, para poder diferenciar se les asigno colores a cada categoría como se muestra en la *Figura 4*.

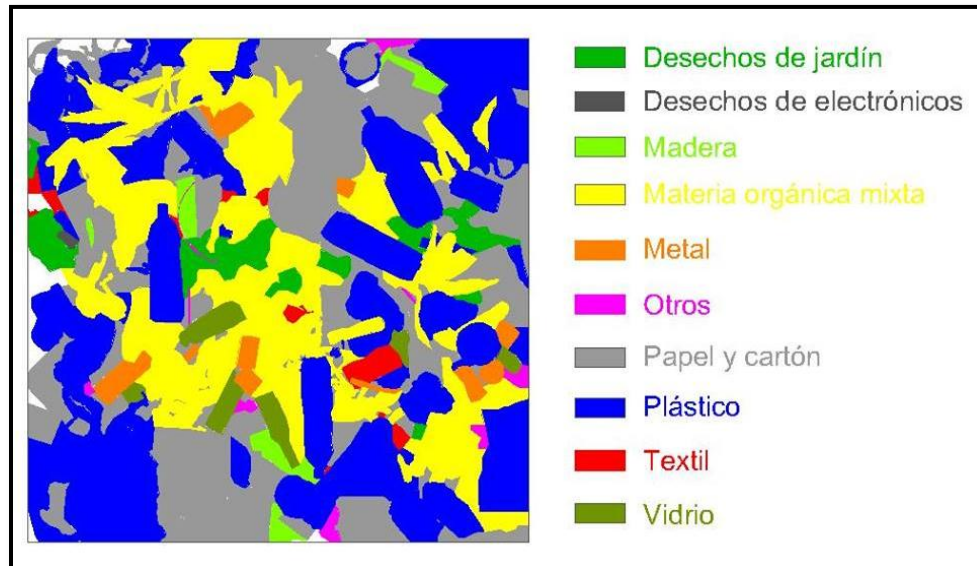


Figura 4. Diferenciación de las categorías por colores

Para la caracterización fotogramétrica, se utilizó las densidades y pesos unitarios recopiladas por Worrell y publicadas en su trabajo “ingeniería de desechos sólidos” en el 2011, al igual que la información obtenida en el estudio.

Por lo anterior, la manera de cómo se realizó la selección de esta información, fue de acuerdo a la similitud de los artículos encontrados en las tablas de Worrell y las que se obtuvieron en el estudio. Se identificó características compartidas tales como: la capacidad en caso de los envases, tamaño y cantidad del artículo analizado, manera como se presenta el artículo, a saber, si está triturada o completa, etc.

Sin embargo, para algunos artículos no existen sus respectivos pesos y densidades, por ejemplo, para las botellas plásticas. Según las tablas publicadas por Worrell en el 2011, únicamente existen los pesos de dos clases de botellas plásticas, una para 1 litro y otra para 2 litros, mientras que en los residuos sólidos municipales de la ciudad de Cuenca, se pueden encontrar botellas plásticas desde los 0,2 litros hasta los 6 litros. Para este caso, se utilizaron los pesos de los



artículos que más se acerquen a su capacidad, esto es, para una botella de 3 litros se utilizó el peso de una botella de 2 litros y para los de 0,2 litros se utilizó el peso de una botella de 1 litro.

Además, en la misma literatura utilizada no existen densidades y/o pesos unitarios para la categoría desechos electrónicos que en algunos casos sí se encuentran en los residuos sólidos municipales de la ciudad de Cuenca. Únicamente para esta categoría se utilizaron los pesos obtenidos en el estudio, de la misma forma para la categoría Otros, se utilizó la densidad de Misceláneos, ya que en las tablas de la literatura se encuentra de esta forma Anexo A.

4.2 Mediciones de densidades.

Hay la gran posibilidad que dentro de los Residuos Sólidos Municipales se encuentren artículos irregulares cuyo volumen sea de difícil determinación (ej. materia orgánica), para este caso se emplea el método del picnómetro, el cual es comúnmente usado en la rama de Ingeniería Geotécnica para analizar densidades de diferentes tipos de suelos.

El picnómetro es un matraz aforado que permite extraer todas las burbujas que podrían aparecer dentro del líquido de inmersión (agua para el caso de desechos sólidos). Este líquido es usado para evaluar el volumen que desplaza el material analizado el cual es de igual magnitud al volumen del material analizado propiamente dicho.

Una de las ventajas de usar este método es que el volumen se evalúa en función del peso del líquido de inmersión y la densidad del agua, por lo que la precisión de la medida se mejora enormemente, en comparación con la precisión que se lograría al obtener con instrumentos volumétricos. La *Ecuación 1* es la que se empleó para estimar la densidad aparente de cualquier material.

$$\rho = \frac{(D - A)\rho_{H_2O}}{(B - A) - (C - D)}$$

En donde:

A=Peso picnómetro (g)

B=Peso picnómetro + agua (g)

C=Peso picnómetro + agua + muestra seca (g)

D=Peso picnómetro + muestra seca (g)

ρ =Densidad aparente de la muestra (g/ cm³)

En la *Figura 5* se muestra el procedimiento para obtener las densidades mediante el picnómetro, con el propósito de evitar que los pesos se vean influenciados por sustancias extrañas, para lo cual se tomó en cuenta lo siguiente:

Limpiar el recipiente utilizado como picnómetro para evitar que las partículas y residuos influyan en el peso del picnómetro (A).

La muestra que se analiza mediante el método del picnómetro debe ser seca, para que el peso no se vea afectado por la humedad o el contenido de agua (D).

Comúnmente, en el análisis de densidades, se utiliza agua destilada como líquido de inmersión. Con una lámina de vidrio o plástico se eliminan las burbujas de aire de gran tamaño que puedan afectar en la precisión de la medición (B).

Al momento de añadir la muestra al picnómetro, se introduce también aire, principalmente por los espacios vacíos, por lo que hay pequeñas burbujas de aire que flotan en el líquido; para eliminarlos se calienta el agua con la muestra a una temperatura constante de 40 grados Celsius durante 10 minutos (C).

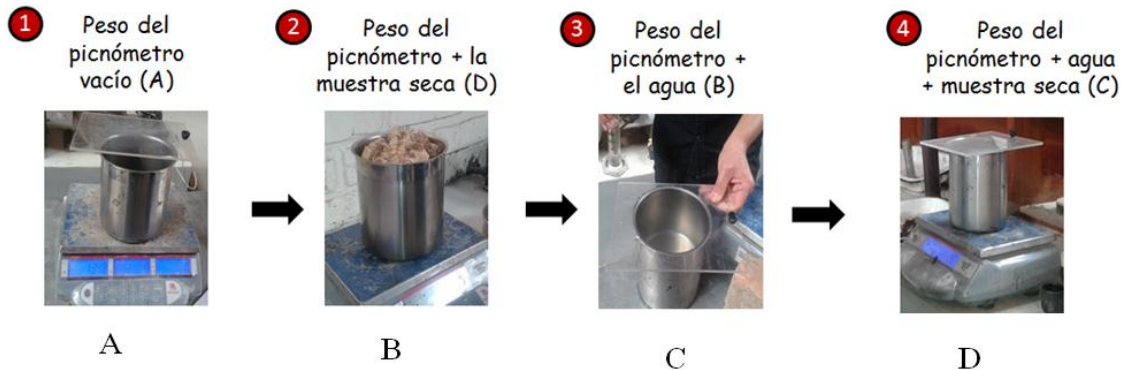


Figura 5. Procedimiento para la obtención de las densidades mediante el picnómetro.

Los principales materiales que se analizaron con en el método del picnómetro fueron:

- Aserrín.
- Desechos de Jardín.
- Materia Orgánica Mixta.
- Desechos de construcción y demolición:
 - Arena.
 - Concreto.
 - Grava
 - Cerámica.

Para el caso de materiales macizos, tales como: láminas de metal y ladrillo, la densidad se calculó con la *Ecuación 2*.

Ecuación 2

$$\rho = \frac{M}{V}$$

En donde:

ρ = Densidad del artículo (g/ cm³)

M= Masa del artículo (g)

V= Volumen del artículo (cm³)

La masa simplemente se obtuvo pesando el artículo en una balanza analítica y el volumen se obtuvo a partir de sus dimensiones

Ecuación 3.

$$V = L \cdot A \cdot E$$

Ecuación 3

En donde:

V= Volumen de artículo (cm³)

L= Largo de artículo (cm)

A= Ancho del artículo (cm)

E.= Espesor (cm)

4.3 Mediciones de pesos unitarios.

Para obtener los pesos unitarios simplemente se pesó el artículo en una balanza analítica y se obtuvieron las dimensiones de la superficie y espesor de del material analizado, para calcular con mayor exactitud el volumen que ocupa en la fotografía al momento de realizar la caracterización fotogramétrica *Figura 6*.

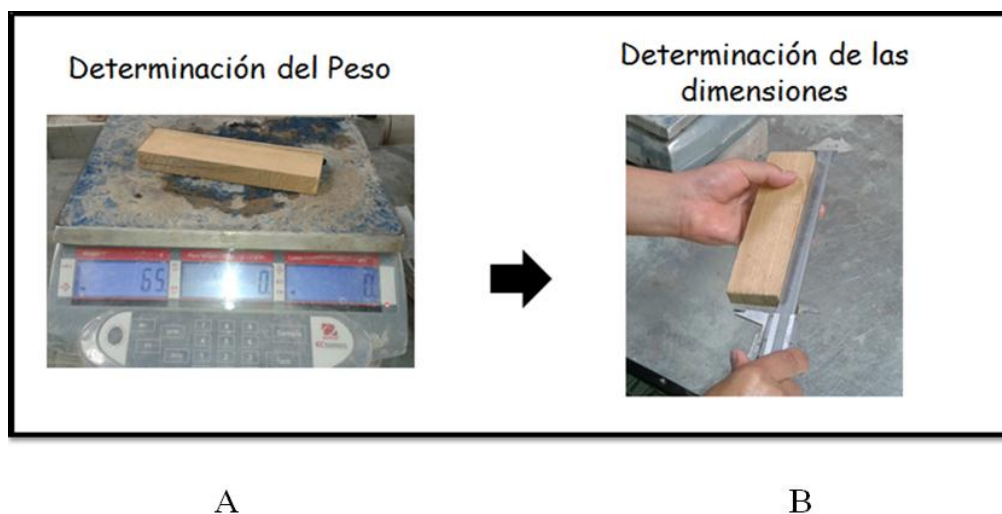


Figura 6. Determinación de los pesos y dimensiones de los diferentes artículos.



En la *Tabla 2* se muestran la lista de artículos, las cuales fueron analizadas con el procedimiento antes mencionado.

Tabla 2: Lista de artículos de los cuales se determinaron los pesos unitarios.

PLÁSTICOS	PAPEL Y CARTÓN
Bloque de PS expandido	Capeta de cartón
Caja PP para CD	Cartón Corrugado
Caja PP para DVD	Cartón prensado
Esfero punta fina LDPE	Cartulina
Esponja	Cuaderno universitario 100 hojas
Esponja para embalaje	Cuaderno universitario 200 hojas
Funda de leche LDPE	Cubeta para huevos
Funda LDPE para supermercado	Directorio Telefónico
Funda LDPE para aceite de cocina	Papel bond A5
Funda LDPE para Basura	Papel bond A4
Funda LDPE para supermercado pequeña	Papel ministro A4
Lámina de Acrílico para publicidad	Papel periódico tamaño C0
	Periódico
Regla escolar LDPE de 30 cm	Revistas
Tragaluz de PVC	Tetrapak
Tubería PVC	Tira de papel higiénico
	Tubo de papel higiénico
	Volante para Publicidad
METALES NO FERROSOS	METALES FERROSOS
Envases de aluminio	Envases de hierro
Lámina de aluminio	Lámina de acero inoxidable
Lámina para techo.	Platina de hierro
Papel aluminio	Platina de hierro en forma de L
	Tubo de acero inoxidable
	Varilla de Hierro Corrugada
	Varilla de Hierro lisa
DESECHOS DE CONSTRUCCIÓN	TEXTILES
Adoquín	Tela de algodón



Arena	Cuero
Asfalto	Franela
Concreto	Tela de nylon
Ladrillo	Tela de poliéster
Pedazo de bloque de concreto	Telas para camisas
	Yute
MADERA	DESECHOS ELECTRÓNICOS
Plywood	Batería Lion-ion para celular
Lápiz HB2 ½	Batería Lion-ion para celular
Pedazo de piso flotante	Pila tipo AAA
Pedazos de madera	Pila tipo A
Pedazos de madera MDF	Pila tipo AA
	Tarjeta electrónica para transporte público
	Tarjeta SIM para celular

Para el caso de los envases por ejemplo, hay ocasiones durante la fotogrametría se requiere que la masa sea unitaria por lo que únicamente se obtuvo su masa y su volumen hace referencia a la capacidad del envase, el cual se describe en las características del envase analizado. En la *Tabla 3* se exponen los envases analizados.

Tabla 3: Lista de envases de las cuales se determinó los pesos.

PLÁSTICOS	METAL	VIDRIO
Envase HDPE para bebida	No Ferroso	Envase para bebida
Envase PET para Jugo	Envase para bebida	Envase para perfume
Envase PET para agua	Envase para jugo	Envase para jugo
Envase HDPE para champú	Envase para desodorante	
Envase HDPE para Yogurt	Ferrosos	
Envase PVC para detergente	Envase para pintura en aerosol	
	Lata para atún	

Para los envases plásticos, se identificó los distintos tipos de materiales de los cuales están formados, estos materiales se ilustran en la *Tabla 4*.

Tabla 4: *Tipos de materiales constituyentes para envases plásticos.*

TIPO DE PLÁSTICO	ACRÓNIMO	CÓDIGO
Polietileno Tereftato	PET	1
Polietileno de alta densidad	PEAD, HDPE	2
Policloruro de vinilo	PVC, V	3
Polietileno de baja densidad	PEBD, LDPE	4
Polipropileno	PP	5
Poliestireno	PS	6
Otros	Otros	7

Fuente: (Tonelli, 2013)

4.4 Comparación de los resultados.

La comparación se realizó mediante el cálculo de errores, esto permite evaluar los resultados experimentales con los que teóricamente se deberían obtener, esto se mide cuan errado esta un dato o un grupo de datos respecto de uno que es el real o teórico. Para el estudio, se calculó el porcentaje de error la cual fue útil para determinar cuan cerca o lejano está el valor estimado del valor real.

Por lo anterior, la comparación se realizó de la siguiente manera.

- A. Caracterización manual versus caracterización fotogramétrica utilizando las densidades y pesos unitarios disponibles en la literatura.
- B. Caracterización manual versus caracterización fotogramétrica utilizando las densidades y pesos unitarios obtenidos en el estudio.

C. Caracterización fotogramétrica utilizando las densidades y pesos unitarios disponibles en la literatura versus caracterización fotogramétrica utilizando las densidades y pesos unitarios obtenidos en el estudio.

El porcentaje error, también es conocido como error relativo, el cual se expresa en la *Ecuación 4*.

Ecuación 4

$$\%E(i) = \frac{|\text{Valor real} - \text{Valor estimado}|}{\text{Valor real}} \times 100$$

En dónde:

$\% E(i)$: Porcentaje de error que resulta de la comparación de la caracterización manual y fotogramétrica con las densidades y pesos unitarios de la literatura y las obtenidas en la investigación.

El caso A y B, el Valor real corresponde a los pesos de las diferentes categorías obtenidos con la caracterización manual y el Valor estimado corresponde a los pesos obtenidos con la caracterización fotogramétrica. Mientras en que en el caso C, el Valor real corresponde a los pesos obtenidos mediante la caracterización fotogramétrica utilizando las densidades y pesos unitarios disponibles en la literatura. El subíndice (i) indica el número correspondiente a la categoría *Tabla 5*.

Los valores que se obtienen en la diferencia entre el valor real y el valor estimado, se toma en consideración su valor absoluto, por ejemplo, se obtiene un resultado de -8, se toma en cuenta el valor positivo |8|.

Tabla 5: Representación de las categorías para la comparación.

CATEGORÍA	(i)
Desechos de jardín	1
Desechos electrónicos	2
Madera	3
Materia orgánica mixta	4
Metal	5
Otros	6
Papel y cartón	7
Plásticos	8
Textiles	9
Vidrio	10

Para exponer de mejor manera, si el porcentaje de error indica aumento o disminución del valor estimado con respecto al valor real, este porcentaje está acompañado del signo negativo (-) en caso de que disminuya y del signo positivo (+) en caso de que aumente, pero estos valores se expresan como absolutos, los cuales están expuestos en el *Gráfico 3*, *Gráfico 5*, *Gráfico 6*.

5 RESULTADOS.

En la investigación se obtuvieron las densidades aparentes y pesos unitarios de los residuos sólidos municipales de mayor generación en la ciudad de Cuenca. La cantidad de materiales analizados es muy notable en comparación con las que se encuentran disponibles en la literatura, tal es el caso de las botellas plásticas y textiles, se logró analizar botellas de distintas capacidades que van desde los 200 ml hasta los 6 L; telas de distintos materiales como algodón, nylon, poliéster, etc. Además se complementó la categoría denominada "Otros". Dentro de esta

categoría están todos los materiales que no forman parte de las demás categorías, como: desechos compuestos con distintos tipos de materiales,

5.1 Caracterización Manual y Fotogramétrica.

Mediante la caracterización manual, se identificaron las categorías que se encuentran en mayor cantidad dentro de la muestra analizada. Tal es el caso de la materia orgánica mixta, papel y cartón, plásticos y metales que en conjunto representan el 84%. Mientras que con la caracterización fotogramétrica utilizando las densidades y pesos unitarios disponibles en la literatura representan el 69,8%; en la caracterización fotogramétrica utilizando las densidades y pesos unitarios obtenidos en este estudio representan el 81,8%.

De la misma forma se procedió a comparar los resultados de cada categoría, en que se observa grandes variaciones, esto es, en unos casos disminuye y en el otro aumenta con respecto al valor real. Tal es el caso de los desechos de jardín por ejemplo, que mediante la caracterización fotogramétrica utilizando la densidad disponible en la literatura, su masa resultante disminuye de 0,3 kg a 0,1 kg; mientras que en la caracterización fotogramétrica utilizando la densidad obtenida en el estudio, su masa resultante aumenta de 0,3 kg a 0,4 kg.

En la *Tabla 6* se muestran los resultados obtenidos con la caracterización manual de los 9,4 kg analizados. Las categorías: materia orgánica mixta, plástico, metal, papel y cartón encontrados en la muestra son los más relevantes con un peso combinado de 7,9 kg, representando el 84,04% de la mezcla. Las demás categorías: desechos de jardín, el vidrio, los textiles, la categoría “otros”, madera y desechos electrónicos son los menos representativos con un peso combinado de 1,5 kg, con 15,95% con respecto a la muestra total.

Tabla 6: Resultados de la caracterización manual.

CATEGORÍA	MASA (kg)	%
Desechos de jardín	0,3	3,2
Desechos electrónicos	0,2	2,1
Madera	0,2	2,1
Materia orgánica mixta	4,8	51,1
Metal	1,2	12,7
Otros	0,1	1,1
Papel y cartón	0,8	8,5
Plásticos	1,1	11,7
Textiles	0,1	1,1
Vidrio	0,6	6,4
TOTAL	9,4	100

En el *Gráfico 1* se presentan los porcentajes de cada categoría encontrada en la muestra. Como se puede observar, el porcentaje de materia orgánica corresponde 51,1% del total de la muestra, las demás categorías ocupan el 48,9 % del total de la muestra.

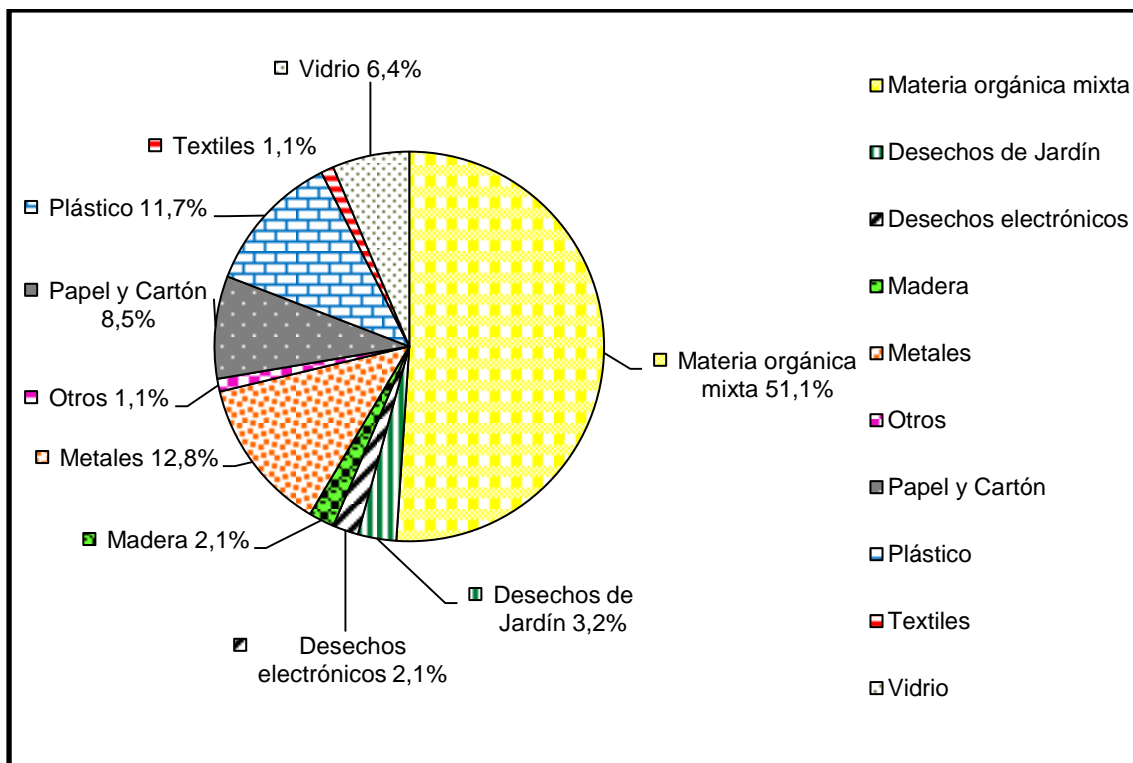


Gráfico 1. Composición de la muestra de los 9,4 kilogramos.

5.2 Caracterización fotogramétrica usando datos de la literatura.

Para obtener los pesos de las diferentes categorías se utilizaron las densidades y pesos unitarios recopiladas por Worrell y publicadas en su trabajo “Ingeniería de desechos sólidos” en el 2011. En el Anexo A, se ilustra las listas de todas las densidades y pesos unitarios utilizadas para este fin.

En la *Tabla 7* se muestran los resultados obtenidos durante la caracterización fotogramétrica con datos de la literatura. Las categorías más relevantes son: la materia orgánica mixta, plástico, textiles, papel y cartón con un peso combinado de 11,7 kg, con un 84,78% con respecto a la muestra total. En cuanto a las demás categorías como son los desechos de jardín, la madera, la categoría otros, vidrio, desechos electrónicos y metales son poco representativos con un peso combinado de 2,1 kg, con un 15,21% con respecto a la muestra total.

Tabla 7: Resultados de la caracterización fotogramétrica utilizando las densidades y pesos unitarios de la literatura.

CATEGORIA	MASA (kg)	%
Desechos de Jardín	0,1	0,7
Desechos electrónicos	0,01	0,07
Madera	0,1	0,7
Materia orgánica mixta	4,7	34,1
Metales	0,4	2,9
Otros	1	7,2
Papel y Cartón	2,5	18,1
Plástico	2	14,5
Textiles	2,5	18,1
Vidrio	0,5	3,6
TOTAL	13,8	100,0

En el *Gráfico 2* podemos observar con más detalle los porcentajes de cada categoría. La materia orgánica es la categoría más representativa con un 34,1% de la muestra total, ocupando el resto de categorías un 65,9%.

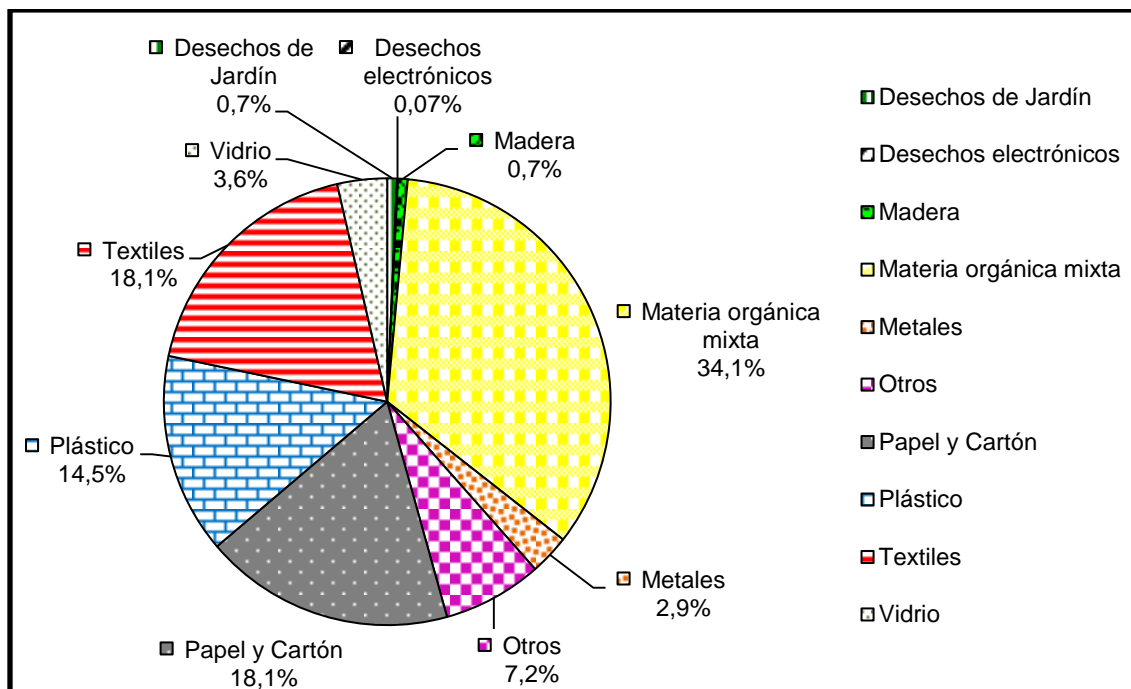


Gráfico 2. Resultado de la caracterización fotogramétrica utilizando las densidades y pesos unitarios de la literatura.

5.3 Comparación de resultados

Para la comparación de los resultados obtenidos usando los datos de la literatura se usó la *Ecuación 4* descrita en la metodología. La comparación se realizó entre la caracterización manual y la caracterización fotogrametría utilizando información disponible en la literatura. Se obtuvo el error de los pesos totales, el cual es de 46,8 %.

$$\% \text{ Error} = \frac{|9,4 \text{ kg} - 13,8 \text{ kg}|}{9,4 \text{ kg}} \times 100$$

$$\% \text{ Error} = 46,8$$

Este error indica que el peso total obtenido durante la caracterización fotogramétrica, se incrementa en 46,8 % con respecto al peso total obtenido en la caracterización manual.

En la *Tabla 8* se muestra la variación de los pesos de las diferentes categorías, estas variaciones se deben a que en la fotografía, algunos materiales quedan cubiertos por otros, entonces los valores que se consiguen son diferentes de los de la caracterización manual.

Además, los resultados varían, debido a que en las tablas de Worrell publicadas en el 2011, no existen las densidades y pesos unitarios que se asemejen a los artículos encontrados en la caracterización manual, como es el caso de algunos envases plásticos, latas ferrosas para conservas, periódicos, etc.

Tabla 8: Resultados de la comparación entre la caracterización manual y la caracterización fotogramétrica.

Categoría	Caracterización manual (kg)	Caracterización fotogramétrica (kg)	% Error
Desechos de Jardín	0,3	0,1	66,7 (-)
Desechos electrónicos	0,2	0,01	95,0 (-)
Madera	0,2	0,1	50,0 (-)
Materia orgánica mixta	4,8	4,7	2,5 (-)
Metales	1,2	0,4	66,7 (-)
Otros	0,1	1,0	900,0 (+)
Papel y Cartón	0,8	2,5	212,5 (+)
Plástico	1,1	2,0	81,8 (+)
Textiles	0,1	2,5	2400,0 (+)
Vidrio	0,6	0,5	16,7 (-)
TOTAL	9,42	13,8	46,8 (+)

Por lo expuesto en el Capítulo 4, el signo negativo (-) indica una disminución en la cuantificación de las masas y el signo (+) un aumento, esto se observa de mejor manera en el *Gráfico 3*.

En otras palabras, para el caso de los desechos de jardín por ejemplo, el signo negativo significa que el peso disminuye en un 66,7% con respecto al peso obtenido en la caracterización manual. De esta forma, evidenciamos que los pesos

de las categorías: Desechos electrónicos, Madera, Materia Orgánica Mixta, Metales y Vidrio disminuyen.

De igual forma, en la categoría correspondiente a los Textiles, se obtiene un porcentaje de error de un 2400%, esto significa que el peso obtenido en la caracterización fotogramétrica se incrementa 24 veces, con respecto al peso obtenido en la caracterización manual.

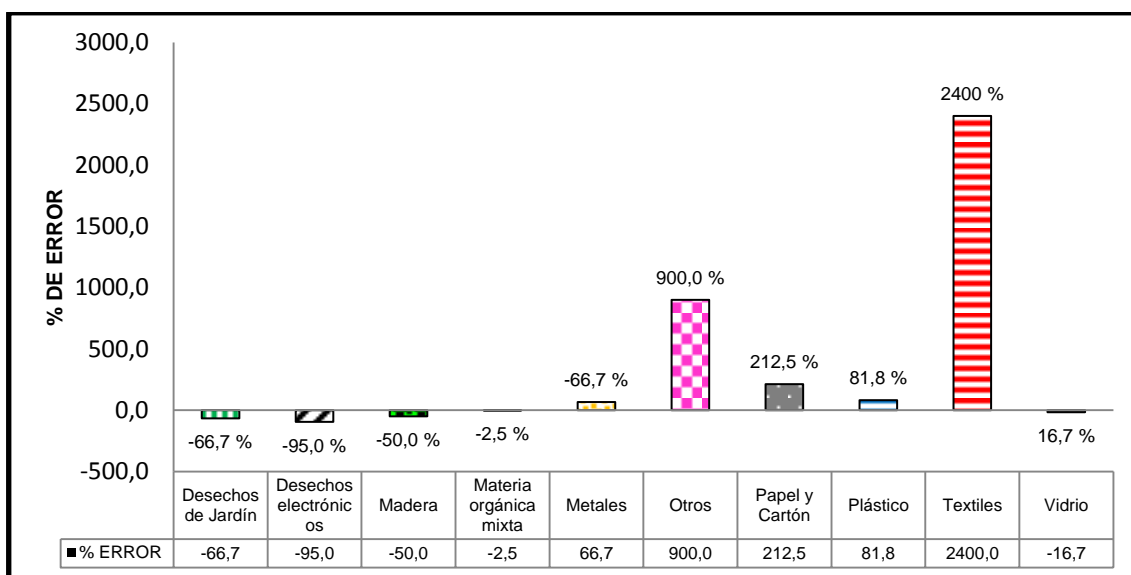


Gráfico 3. Comparación de los resultados de la Caracterización manual vs Caracterización fotogramétrica utilizando información de la literatura.

5.4 Nuevas densidades y pesos unitarios.

En este capítulo se exponen las densidades aparentes y los pesos unitarios de los residuos de mayor generación encontrados en la ciudad de Cuenca, para efectuar de manera educada los cálculos designados.

PLÁSTICOS

En la ciudad de Cuenca la mayor cantidad de plásticos que se han encontrado son las fundas de los supermercados y botellas plásticas. En la *Tabla 9* se muestran

los distintos tipos de envases plásticos para bebidas y fundas de supermercado encontradas para los cálculos respectivos.

En las tablas obtenidas por Worrell en el 2011, se aprecian que las densidades obtenidas son analizadas a partir de muestras grandes, mientras que las densidades obtenidas en nuestro estudio, son calculadas individualmente, esto es, una botella, una caja de CD, un CD, un pedazo de tubería, etc.

Tabla 9: Pesos unitarios y densidades de los diferentes artículos plásticos.

PLÁSTICOS

Descripción del Artículo	Valor	Unidad
Bloque de poliestireno expandido de 7, 7 x 11 x 0,1 cm.	0,1	g/cm ³
Botella HDPE de 200 ml para champú.	30,2	g
Botella HDPE de 500 ml para alcohol antiséptico.	33,7	g
Botella PET de 1 L para agua pura.	27	g
Botella PET de 1,35 L para bebida.	39,9	g
Botella PET de 1,6 L para bebida.	48,1	g
Botella PET de 1,75 L para jugo.	44,7	g
Botella PET de 2 L para bebida.	110	g
Botella PET de 200 ml para bebida energizante.	26,8	g
Botella PET de 250 ml para jugo.	17,8	g
Botella PET de 3 L para bebida.	59,7	g
Botella PET de 365 ml para bebida energizante.	24,1	g
Botella PET de 400 ml para bebida.	21,2	g
Botella PET de 410 ml para bebida.	25,4	g
Botella PET de 6 L para agua pura.	109,4	g
Botella PET de 600 ml para bebida energizante.	38,7	g
Botella PET de 740 ml para aceite de cocina.	28,2	g
Botella PET de 500 ml para jugo.	23,8	g
Botella PVC de 290 ml para detergente.	39,2	g
Caja para CD PP de 12,5 x 14,2 x 0,5 cm.	45,8	g
Caja para DVD PP de 13,6 x 19,2 x 0,6 cm.	74,1	g
CD de 12 cm de diámetro y 0,12 cm de espesor	14,6	g
Envase HDPE de 980 g para Yogurt.	47,7	g



Envase HDPE de 200 g para Yogurt.	29,3	g
Envase HDPE de 120 g para Yogurt.	14,9	g
Envase PET de 63 ml para pasta dental.	47	g
Envase PP de 500 ml para jabón lavavajillas.	16,4	g
Esfero punta fina de 0,8 cm de diámetro y 14, 2 cm de largo.	4,6	g
Esponja para embalaje de 13,4 x 35,5 x 0,2 cm.	1,9	g
Esponja para muebles de 6,3 x 10,4 x 2,03 cm.	2,1	g
Funda LDPE de 1 L para leche.	9,8	g
Funda LDPE de 200 ml para aceite de cocina.	6	g
Funda LDPE para supermercado.	0,01	g/cm ²
Fundas LDPE para supermercado pequeñas	0,003	g/cm ²
Fundas plásticas LDPE para basura.	0,005	g/cm ²
Lámina de acrílico para carteles publicitarios.	0,3	g/cm ²
Plato PS de 1,5 L para comidas.	6	g
Plato tendido PS de 176 ml para comidas.	5	g
Regla escolar LDPE de 2,4 x 30 x 0,2 cm.	11,4	g
Tragaluz de PVC de 14 x 18,2 x 0,3 cm para cubierta de techos.	34,7	g
Tubería PVC de 5 cm de diámetro y 9,8 cm de largo.	4,2	g/cm
Tubería PVC de 1,8 cm de diámetro y 11, 3 cm de largo.	0,8	g/cm
Vaso de polipropileno de 158 ml para bebidas.	2,7	g
Vaso térmico PS de 180 ml para bebidas.	2,8	g

PAPEL

Los principales artículos de papel que se encontraron en los residuos sólidos municipales de la ciudad de Cuenca fueron los papeles empleados en las oficinas, periódicos, volantes de publicidad, entre otros, los cuales se ilustran en la

Tabla 10.

Tabla 10: Pesos unitarios de los diferentes artículos de papel.**PAPEL**

Descripción del Material	Valor	Unidad
Cartulina de 24,3 cm x 44,3 cm x 0,03 cm.	0,02	g/cm ²
Cuaderno universitario 100 hojas tamaño A4.	349,2	g
Cuaderno universitario 200 hojas tamaño A4.	583,1	g
Directorio telefónico tamaño A4 de 1270 páginas.	1669,4	g
Directorio telefónico tamaño A4 de 598 páginas.	805,9	g
Directorio telefónico tamaño A4 de 672 páginas.	863,6	g
Hoja de periódico de 32 cm de ancho y 56 cm de largo.	0,01	g/cm ²
Hoja de periódico de 56 cm de ancho y 63 cm de largo.	0,005	g/cm ²
Papel bond tamaño A4.	33,2	g
Papel bond tamaño A5.	3	g
Papel ministro tamaño A4.	8,1	g
Papel para fotografía tamaño A6.	3,5	g
Periódico de 6 hojas con un tamaño de 32 cm x 56 cm.	75	g
Periódico de 5 hojas con un tamaño de 57,8 cm x 62,7 cm.	85	g
Pliego de papel periódico tamaño C0.	58,3	g
Revista de papel prensa, tamaño A4 de 156 páginas.	370,8	g
Revista de papel brillante, tamaño A4 de 132 páginas.	279,5	g
Revista de papel prensa, tamaño A4 de 156 páginas.	380,2	g
Revista de papel brillante, tamaño A4 de 52 páginas.	187,1	g
Revista de papel brillante, tamaño B5 de 156 páginas.	332,1	g
Revista de papel prensa, tamaño A4 de 52 páginas.	98,4	g
Revista de papel plastificado, de 29,9 x 29,6 x 1,5 cm de 304 páginas.	1112,8	g
Revista de papel plastificado, tamaño A4 de 204 páginas.	391,9	g
Revista de papel plastificado, tamaño A4 de 244 páginas.	756,3	g
Tira de papel higiénico doble hoja.	0,03	g



Volante de papel plastificado para publicidad, tamaño A5.	4,6	g
Volante de papel prensa para publicidad, tamaño A6.	1,1	g

CARTÓN

La mayor cantidad de cartón encontrado en los residuos fueron los utilizados para transportar distintos tipos de mercadería y electrodomésticos. Todos los tipos de cartón encontrados se exponen en la *Tabla 11*.

Tabla 11: Pesos unitarios de los diferentes artículos de cartón.

CARTÓN

Descripción del Material	Valor	Unidad
Carpeta de cartón tamaño B4.	25,2	g
Cartón de 0,07 cm de espesor para tubo de papel higiénico.	0,04	g/cm ²
Cubeta para 12 huevos de 29,5 cm x 30 cm x 4,5 cm.	0,1	g/cm ²
Envase tetrapak de 250 ml.	13,6	g
Fragmento cartón corrugado con un espesor de 0,8 cm.	0,2	g/cm ²
Fragmento de cartón corrugado con un espesor de 0,05 cm.	0,05	g/cm ²
Fragmento de cartón con un espesor de 0,5 cm.	0,1	g/cm ²
Fragmento de cartón corrugado con un espesor de 0,1 cm.	0,07	g/cm ²
Fragmento de cartón prensado con un espesor de 0,2 cm.	0,26	g/cm ²

METALES NO FERROSOS

La mayor cantidad de metales encontrados en los residuos sólidos municipales de la ciudad de Cuenca fueron los envases de conservas, bebidas y alimentos no perecibles. Los metales no ferrosos encontrados se describen en la *Tabla 12*.

Tabla 12: Densidades y pesos unitarios de metales no ferrosos.

METAL

Aluminio

Descripción del Material	Valor	Unidad
Envase de 160 ml para desodorante.	48	g
Envase de 165 ml para desodorante.	55,7	g
Envase de 240 ml para jugo.	11,9	g
Envase de 330 ml para cerveza.	12,8	g
Envase de 355 ml para cerveza.	13,3	g
Lámina de aluminio de 2,5 cm x 3,4 cm x 0,2 cm.	1,4	g/cm ³
Lámina de techo de 2,9 cm x 6,9 cm x 0,2 cm.	1,8	g/cm ³
Papel aluminio de 24,5 cm x 31 cm x 0,03 cm.	0,007	g/cm ²

.

METALES FERROSOS

En el caso de los metales ferrosos la mayor cantidad fueron encontrados en las construcciones de viviendas. Se encontró una gran cantidad de varillas de hierro de diferentes tamaños y algunas tuberías para agua. Los materiales ferrosos analizados se describen en la *Tabla 13*.

Tabla 13: Densidades y pesos unitarios de los metales ferrosos.

METAL

Ferroso

Descripción del Material	Valor	Unidad
Ángulo de platina de hierro de 2,3 cm de ancho y 0,3 cm de espesor.	4	g/cm ²
Envase de 400 ml para pintura en aerosol.	108,1	g
Lámina de acero Inoxidable de 4,2 cm x 4,8 cm x 0,2 cm.	2,3	g/cm ³
Lata con capacidad de 156 g para sardina.	28,5	g
Lata con capacidad de 180 g para atún.	29,9	g
Lata con capacidad de 80 g para atún.	22	g
Platina de hierro de 1,2 cm de ancho y 0,3 cm de espesor.	2	g/cm ²
Platina de hierro de 2 cm de ancho y 0,3 cm de espesor.	2,3	g/cm ²
Platina de hierro de 2,2 cm de ancho y 0,3 cm de espesor.	2,5	g/cm ²



Platina de hierro de 2,6 cm de ancho y 0,3 cm de espesor.	3,6	g/cm ²
Tubería de acero inoxidable de 3,8 cm de diámetro y 8,1 cm de largo.	13	g/cm
Tubería de hierro de 2,3 cm de diámetro y 6,9 cm de largo.	2,1	g/cm
Tubería de cobre de 1,7 cm de diámetro y 7,5 cm de largo.	2,7	g/cm
Varilla de hierro corrugada de 0,9 cm de diámetro y 12,7 cm de largo.	3,9	g/cm
Varilla de hierro corrugada de 1,2 cm de diámetro y 12,5 cm de largo.	8,4	g/cm
Varilla de hierro lisa de 0,6 cm de diámetro y 15,3 cm de largo.	1,8	g/cm

MADERA

Los desechos de madera encontrados en la basura son muy escasos. La mayor parte de desechos de madera son los residuos de las máquinas de corte, cepillado y lijado. En la *Tabla 14* se puede observar los materiales encontrados en los residuos sólidos municipales de la ciudad.

Tabla 14: Densidades y pesos unitarios de la madera.

MADERA

Descripción del Material	Valor	Unidad
Aserrín resultado del cepillado con máquina.	0,7	g/cm ³
Lápiz HB2 ½ de 0,8 cm de diámetro y 15,9 cm de largo.	4,2	g
Pieza de madera de eucalipto de 1 cm de espesor.	0,4	g/cm ²
Pieza de madera de cedro de 1,5 cm de espesor.	1	g/cm ²
Pieza de madera de pino de 2 cm de espesor	0,8	g/cm ²
Pieza de madera MDF de 1,5 cm de espesor.	0,9	g/cm ²
Pieza de Plywood de 0,1 cm de espesor.	3,1	g/cm ²
Pieza de madera de 1,1 cm de espesor para piso flotante.	0,7	g/cm ²
Viruta del resultado del cepillado manual.	0,5	g/cm ³

VIDRIO

Lo que prevalece en esta categoría fueron las botellas para bebidas y vidrios rotos de ventana. Se tomó como base para los cálculos los tamaños de los envases



más comunes encontrados en nuestra ciudad. En la *Tabla 15* se presenta los materiales encontrados.

Tabla 15: Densidades y pesos unitarios de los envases y artículos de vidrio.

VIDRIO

Descripción del Material	Valor	Unidad
Botella de 330 ml para cerveza.	220,1	g
Botella de 600 ml para cerveza.	441,2	g
Botella de 750 ml para bebida.	719,4	g
Envase de 473 ml para bebida energizante.	232,7	g
Envase de 100 ml para perfume.	181,8	g
Envase de 320 ml para jugo de fruta.	185,2	g
Vidrio protector contra el sol de 0,7 cm de espesor para ventana.	1,4	g/cm ²

DESECHOS DE CONSTRUCCIÓN

En esta categoría los materiales más relevantes encontrados fueron los utilizados para la construcción de viviendas y vías. En la *Tabla 16* se expone los distintos materiales que se encontraron para el cálculo de las densidades y pesos unitarios.

Tabla 16: Densidades de los desechos de construcción.

DESECHOS DE CONSTRUCCIÓN

Descripción del Material	Valor	Unidad
Adoquín de 11,6 cm x 13,6 cm x 6 cm.	1935	g
Agregado fino o arena para fabricar hormigón.	1	g/cm ³
Asfalto con agregado para pavimentar calles.	1,7	g/cm ³
Baldosa cerámica para pared de 1,2 cm de espesor.	1,7	g/cm ³

Bloque de cemento doble gafa para construcción de viviendas.	1,2	g/cm ³
Concreto seco de cantos rodados naturales.	5,5	g/cm ³
Grava para fabricar hormigón.	2,6	g/cm ³
Ladrillo cocido de tierra o arcilla de fabricación artesanal de 11,1 cm x 23,3 cm x 6,8 cm.	1,5	g/cm ³
Ladrillo macizo de 13 cm x 20 cm x 7,6 cm.	1,7	g/cm ³

DESECHOS ELECTRÓNICOS.

En la muestra analizada, se pudo obtener distintos tipos de desechos electrónicos, en los cuales sobresalieron las baterías para celulares, pilas y tarjetas SIM. Todos estos materiales encontrados se han analizado de acuerdo a los tamaños. En la *Tabla 17* se describen los distintos pesos unitarios de cada material.

Tabla 17: Pesos unitarios de los desechos electrónicos.

DESECHOS ELECTRÓNICOS

Descripción del Material	Valor	Unidad
Batería Li-Ion de 3,4 cm x 5,4 cm x 0,7 cm para celular.	21,5	g
Batería Li-Ion de 5,1 cm x 6 cm x 0,4 cm para celular.	27,2	g
Tarjeta SIM de 1,5 cm x 2,5 cm x 0,2 cm para celular.	0,3	g
Pila tipo A	134,5	g
Pila tipo AA.	16,1	g
Pila tipo AAA.	11,4	g
Tarjeta electrónica de 8,5 cm x 5,5 cm x 0,1 cm para transporte público.	5,6	g

TEXTILES.

En esta categoría los desechos más comunes encontrados fueron los fabricados con materia prima procedente del petróleo (poliéster), los animales (lana) y los procedentes de las plantas (algodón) *Tabla 18*.

Tabla 18: Pesos unitarios de los diferentes tipos de textiles.

TEXTILES

Descripción del Material	Valor	Unidad
Cuero de 0,1 cm de espesor.	0,1	g/cm ²
Franela de 0,04 cm de espesor.	0,02	g/cm ²
Lona de poliéster con recubrimiento de PVC de 0,04 cm de espesor para carpas de tiendas o camping.	0,04	g/cm ²
Tela de nylon de 0,03 cm de espesor.	0,1	g/cm ²
Tela de poliéster de 0,04 cm de espesor.	0,02	g/cm ²
Tela de algodón de 0,2 cm de espesor para camisetas.	0,2	g/cm ²
Tela de mezclilla o demin de 0,06 cm de espesor para pantalones.	0,03	g/cm ²
Tela de poliéster de 0,07 cm de espesor para camisas.	0,02	g/cm ²
Yute de 0,05 cm de espesor.	0,01	g/cm ²

OTROS.

En esta categoría intervienen todos los desechos que no forman parte de las demás categorías y que están mezclados con otros materiales, como son pelusas de ropa entreveradas con polvos de limpieza, envolturas de dulces entreverados con polvos, palos de chupetes con residuos de dulce, etc. En la *Tabla 19* se muestra el resultado de este análisis.

Tabla 19: Densidades y pesos unitarios de los materiales que no se encuentran en las demás categorías.

OTROS

Descripción del Material	Valor	Unidad
Otros (polvos, cerilla, colillas de cigarrillos, envolturas de caramelos, palos de chupetes)	1,4	g/cm ³
Colilla de cigarrillo	0,23	g
Envolturas de caramelos	1,44	g
Palos de chupetes	0,7	g
Polvos y pelusas	8,7	g
Cerilla de fosforo	0,053	g

ORGÁNICOS.

La materia orgánica que fue analizada avistaba por una mezcla de todos los desperdicios de cocina, restos de fruta, hortalizas y como parte de los desechos fecales de animales domésticos, se tomó una mezcla (vacas, ovejas, caballos y pollos). En la *Tabla 20* se expone la densidad de los desechos orgánicos.

Tabla 20: Densidad y pesos unitarios de los orgánicos.

ORGÁNICOS

Descripción del Material	Valor	Unidad
Arroz	17,1	g
Cáscara de una banana	34	g
Cáscara de un huevo	7,3,	g
Cáscaras de papas	55	g
Cáscaras de plátano	97	g
Cáscaras de tomate	20,8	g
Desechos de Jardín.	0,5	g/cm ³
Estiércol (ganado y oveja).	0,8	g/cm ³
Materia orgánica mixta.	1	g/cm ³
Pan mixto de queso	51,7	g

La materia orgánica analizada es la más común encontrada en nuestros residuos sólidos municipales. En la materia orgánica mixta se realizó una mezcla de todos los desechos orgánicos que se encuentran en la basura municipal, obteniendo resultados que nos ayuden a realizar los análisis fotogramétricos con mayor precisión.

5.5 Caracterización Fotogramétrica usando densidades y pesos unitarios obtenidos.

Para este análisis se utilizaron los pesos y densidades obtenidas en el estudio, las cuales se muestran en la *Tabla 21*.

Tabla 21: Densidades y pesos unitarios obtenidos en el estudio utilizado para la fotogrametría.

MADERA

Descripción del material	Valor	Unidad
Aserrín derivado del cepillado con máquina.	0,7	g/cm ³
Pieza de madera de cedro de 1,5 cm de espesor	1	g/cm ²

METAL

Aluminio

Descripción del material	Valoración	Unidad
Envase de 240 ml para jugo.	11,9	g
Envase de 330 ml para cerveza.	12,8	g

METAL

Ferroso

Descripción del material	Valoración	Unidad
Envase de 400 ml para pintura en aerosol.	108,1	g
Lata con capacidad de 156 g para sardina.	28,5	g
Lata con capacidad de 80 g para atún.	22	g
Platina de hierro de 2 cm de ancho y 1,1 cm de espesor.	1,2	g/cm ²

PAPEL Y CARTÓN

Descripción del material	Valoración	Unidad
Carpeta de cartón tamaño B4.	25,2	g
Cubeta para 12 huevos de 29,5 cm x 30 cm x 4,5 cm.	0,1	g/cm ²
Fragmento de cartón corrugado con un espesor de 0,1 cm.	0,1	g/cm ²
Hoja de periódico de 32 cm de ancho y 56 cm de largo	0,01	g/cm ²
Papel bond tamaño A4.	0,05	g/cm ²

PLÁSTICOS

Descripción del material	Valor	Unidad
Botella PET de 740 ml para aceite de cocina.	28,2	g
Bloque de poliestireno expandido de 7, 7 cm x 11 cm x 0,1 cm.	0,1	g/cm ³
Botella HDPE de 500 ml para alcohol antiséptico.	33,7	g
Botella PET de 1,6 L para bebida.	48,1	g
Botella PET de 1,750 L para Jugo.	44,7	g



CD de 12 cm de diámetro y 0,1 cm de espesor	14,6	g
Envase HDPE de 200 gr para Yogurt.	29,3	g
Funda LDPE para supermercado.	0,01	g/cm ²

ORGÁNICOS Y OTROS

Descripción del Material	Valor	Unidad
Otros (polvos, cerilla, colillas de cigarrillos, envolturas de caramelos, palos de chupetes)	1,4	g/ cm ³
Desechos de Jardín.	0,5	g/cm ³
Materia orgánica mixta.	1	g/cm ³

El peso total que se obtuvo mediante el análisis se acerca al valor real (8,6 kg), que en este caso corresponde al peso total obtenido en el muestreo manual que es de 9,4 kg. En la *Tabla 22* se expone los resultados de la caracterización fotogrametría usando las densidades y pesos unitarios obtenidos en la presente investigación.

Tabla 22: Caracterización fotogramétrica usando las densidades y pesos unitarios del estudio.

CATEGORÍA	MASA(kg)	%
Desechos de Jardín	0,4	4,6
Desechos electrónicos	0,01	0,1
Madera	0,2	2,3
Materia orgánica mixta	5,6	65,1
Metales	0,1	1,1
Otros	0,1	1,1
Papel y Cartón	0,9	10,4
Plástico	0,6	6,9
Textiles	0,03	0,3
Vidrio	0,7	8,1
TOTAL	8,6	100

En el *Gráfico 4* se exponen los porcentajes obtenidos en la caracterización fotogramétrica realizada con las tablas de la presente investigación.

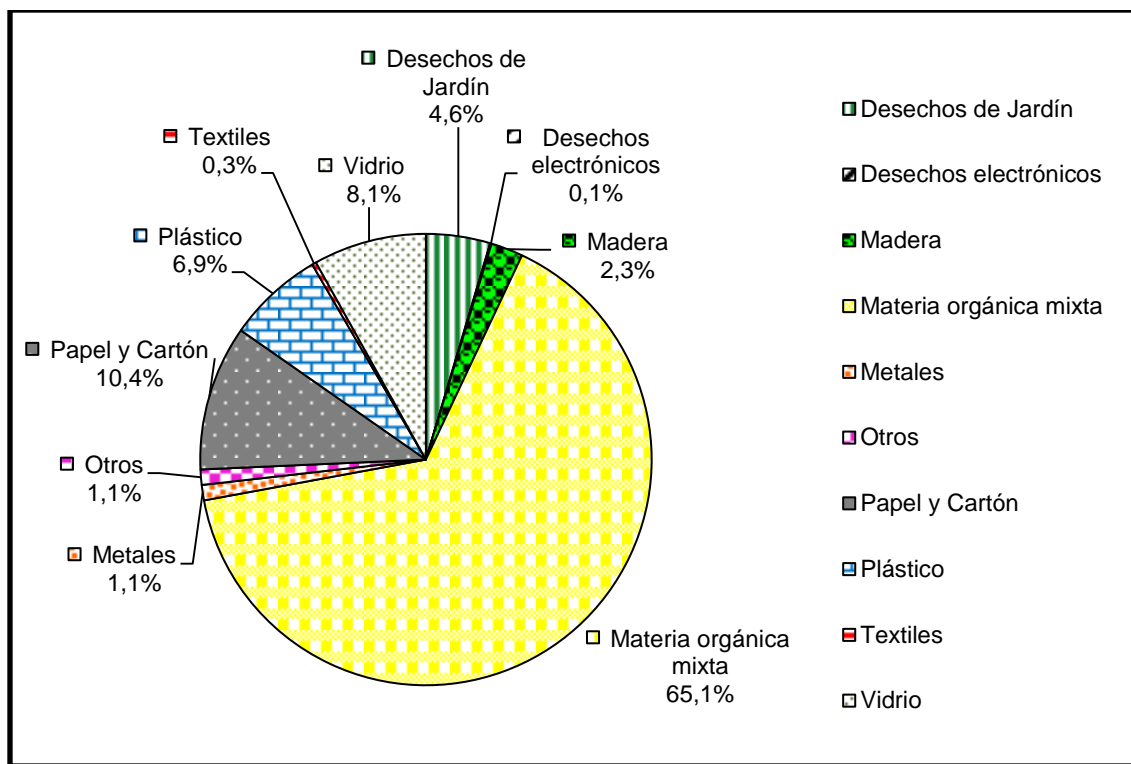


Gráfico 4. Resultado de la caracterización fotogramétrica utilizando las densidades y pesos unitarios del estudio.

En el gráfico podemos observar que el porcentaje de la materia orgánica es de 64,8% del total de la muestra y las demás categorías en conjunto ocupan un 35,2% de la muestra total.

5.6 Comparación de resultados con las nuevas densidades y pesos unitarios obtenidos.

De la misma forma, como se procedió anteriormente, se utiliza la *Ecuación 4* para realizar el cálculo. El porcentaje de error obtenido fue de 8,5%.

$$\% \text{ Error} = \frac{9,4 \text{ kg} - 8,6 \text{ kg}}{9,4 \text{ kg}} \times 100$$

$$\% \text{ Error} = 8,5$$

Este porcentaje de error indica que el peso total obtenido durante la caracterización fotogramétrica es un 8,5 % con respecto al peso total obtenido en la caracterización manual.

En la *Tabla 23* se muestran las variaciones entre categorías. Como podemos observar los valores se acercan a los valores reales y cada una de ellas se identifica con signo negativo (-) y positivo (+), en caso de que el porcentaje indique disminución o aumento, respectivamente, tal como se especificó en el Capítulo 4.

Tabla 23: Resultados de la comparación entre la caracterización manual y la caracterización fotogramétrica.

Categoría	Caracterización manual (kg)	Caracterización fotogramétrica (kg)	% Error
Desechos de Jardín	0,3	0,4	33,3 (+)
Desechos electrónicos	0,2	0,01	95,0 (-)
Madera	0,2	0,2	0,0
Materia orgánica mixta	4,8	5,6	16,6 (+)
Metales	1,2	0,1	91,7 (-)
Otros	0,1	0,1	0,0
Papel y Cartón	0,8	0,9	12,5 (+)
Plástico	1,1	0,6	45,5 (-)
Textiles	0,1	0,03	70,0 (-)
Vidrio	0,6	0,7	16,7 (+)
TOTAL	9,4	8,6	8,5 (-)

Como podemos observar en el *Gráfico 5*, el porcentaje de error más pronunciado es la de la categoría de los desechos electrónicos y metales con un (-) 95% y (-) 91%, respectivamente, esto significa que los pesos obtenidos durante la caracterización fotogramétrica disminuye. El porcentaje de 0%, significa que los pesos obtenidos durante la caracterización fotogramétrica es igual a los pesos obtenidos en durante la caracterización manual.

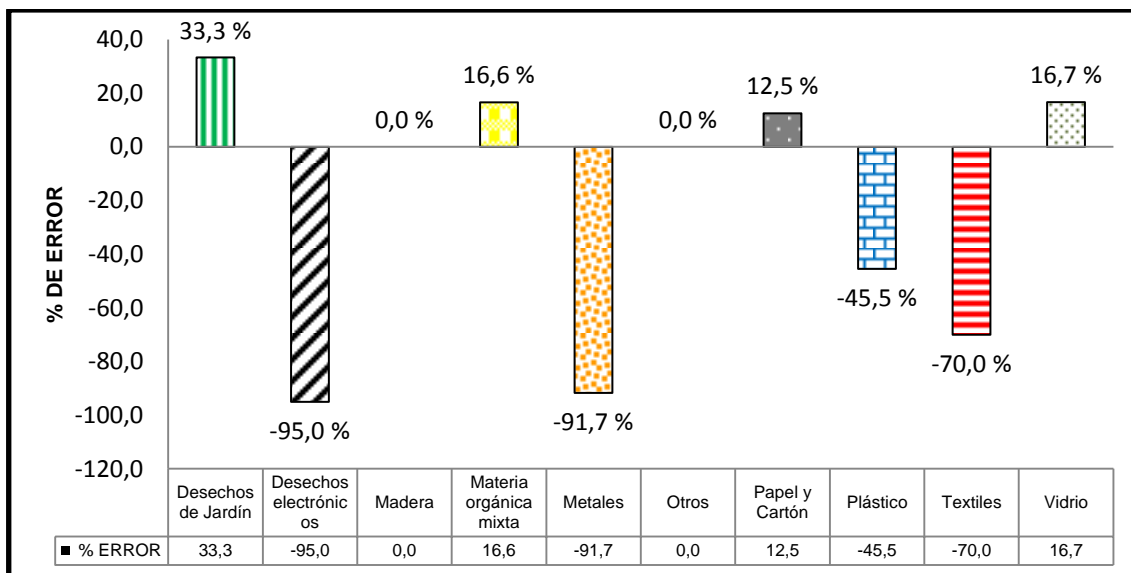


Gráfico 5. Comparación de los resultados de la Caracterización manual vs Caracterización fotogramétrica utilizando la información del estudio.

5.7 Comparación de la caracterización fotogramétrica obtenida con las tablas del estudio y de la literatura.

De la misma forma, como se procedió en los dos casos anteriores, se utiliza la *Ecuación 4* para realizar el cálculo. El porcentaje de error obtenido fue de 37,7%.

$$\% \text{ Error} = \frac{|13,8 \text{ kg} - 8,6 \text{ kg}|}{13,8 \text{ kg}} \times 100$$

$$\% \text{ Error} = 37,7$$

Este porcentaje de error indica que el peso total obtenido durante la caracterización fotogramétrica disminuye en 37,7 % con respecto al peso total obtenido en la caracterización manual.

En la *Tabla 24* se muestra los porcentajes de error de cada categoría obtenida, los resultados de error en algunas categorías son muy pronunciados en la categoría



desechos de jardín con un 300%, al contrario sucede con la categoría desechos electrónicos que tiene un 0% de error en la comparación de los resultados, adquiriendo un valor exacto en la comparación.

Tabla 24: Resultados de la comparación entre la caracterización manual y la caracterización fotogramétrica.

Categoría	Con datos de la literatura (kg)	Con datos del estudio(kg)	% Error
Desechos de Jardín	0,1	0,4	300,0 (+)
Desechos electrónicos	0,01	0,01	0,0
Madera	0,1	0,2	100,0 (+)
Materia orgánica mixta	4,7	5,6	19,1 (+)
Metales	0,4	0,1	75,0 (-)
Otros	1	0,1	90,0 (-)
Papel y Cartón	2,5	0,9	64,0 (-)
Plástico	2	0,6	70 (-)
Textiles	2,5	0,03	98,8 (-)
Vidrio	0,5	0,7	40,0 (+)
TOTAL	13,8	8,6	37,7 (-)

En la comparación de los resultados de la caracterización fotogramétrica utilizando las densidades y pesos unitarios de la literatura vs. Caracterización fotogramétrica utilizando las densidades y pesos unitarios del estudio, se observa que el valor más irrelevante de la comparación es la de los desechos electrónicos los cuales nos dan un error del 0%, en comparación con la materia orgánica que nos da un valor de 19,1 %. En el *Gráfico 6* se puede observar todas las categorías que se han comparado.

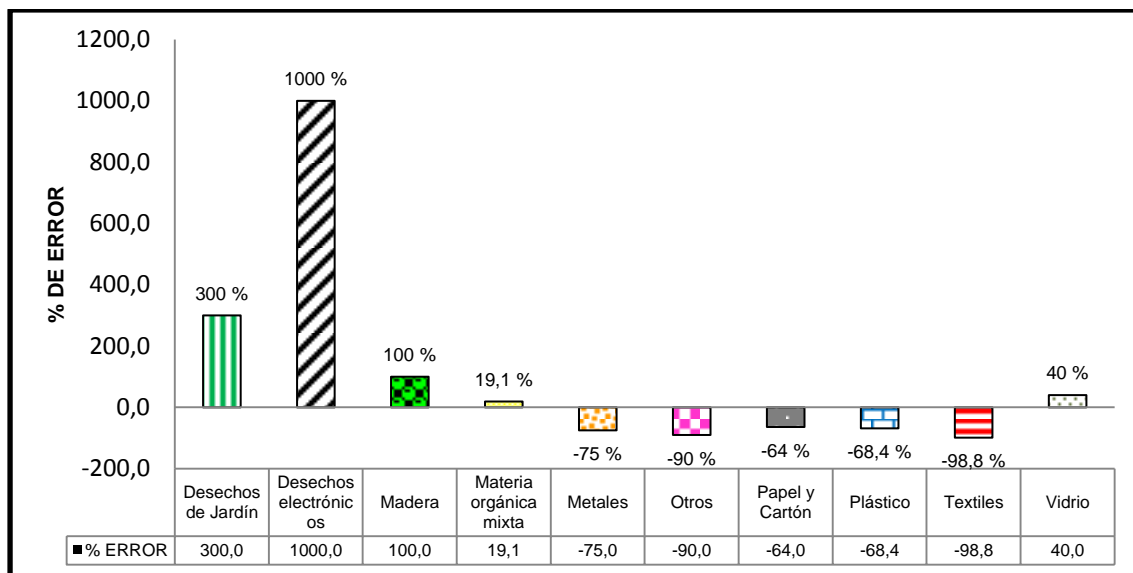


Gráfico 6. Comparación de la caracterización fotogramétrica utilizando los datos de la literatura vs caracterización fotogramétrica utilizando los datos del estudio.

6 CONCLUSIONES

La presente investigación tuvo como objetivo principal la obtención de densidades aparentes de los componentes de mayor generación dentro de residuos sólidos municipales en la ciudad de Cuenca, información clave para la caracterización de los residuos sólidos mediante fotogrametría y aportar con una alternativa para la caracterización comúnmente empleada. El punto de partida del estudio fue buscar cuales han sido las densidades y pesos unitarios que se utilizan para la caracterización fotogramétrica, y si dicha información es aplicable a nuestro medio.

Tras su desarrollo, se han alcanzado objetivos específicos en los cuales se basa el proyecto.

Se identificaron las categorías de los RSM de la ciudad de Cuenca *Tabla 1*. Estas categorías son las principales y las más comunes encontradas en la ciudad. La categoría “otros” es una categoría que se separó de las demás, ya que se



identificaron materiales que están formados por una combinación de distintos componentes y no podían formar parte de las demás categorías.

Dentro de las diez categorías encontradas se identificó los distintos tipos, formas y tamaños de los materiales que forman parte de cada categoría *Tabla 2*.

En algunas categorías como por ejemplo la categoría plásticos se identificó los pesos unitarios de cada envase *Tabla 3* y también se equiparó el material del que estaba constituido cada envase plástico *Tabla 4*. Con la clasificación de los envases plásticos se pudo separar de forma correcta todos los envases de esta categoría.

En la investigación se demostró que las densidades y pesos unitarios obtenidos en algunos casos tienen muchas similitudes y variaciones con los valores de densidades y pesos unitarios obtenidas por Worrell en el 2011. Las variaciones entre los dos resultados, recae principalmente en la cantidad de muestra utilizada y el tipo de material utilizado para la obtención de las densidades y pesos unitarios encontrados en los residuos sólidos en la ciudad de Cuenca.

Se demostró también que para la obtención de densidades y pesos unitarios adecuados se debe obtener con instrumentos de medición que se apeguen a este fin. Si los instrumentos de medición no son adecuados los resultados obtenidos no cumplirán las expectativas para poder comparar los datos obtenidos en la caracterización fotogramétrica.

Para la comparación de los resultados obtenidos se realizó la caracterización manual de la muestra de 9,4 kg *Gráfico 1* se demostró que existe una gran cantidad de materia orgánica mixta con un peso 4,8 kg, ocupando 51,1%, el resto de categorías ocupan el 48,9% lo cual nos da a entender sobre la gran cantidad de materia orgánica que se encuentra dentro de los residuos sólidos municipales.

Mediante la caracterización fotogramétrica se demostró las diferencias que existen

entre las densidades y pesos unitarios obtenidos en la investigación y los adquiridos en la literatura y también el % de error que existen entre estos datos.

Mediante la caracterización fotogramétrica utilizando las tablas de la literatura se demostró que tienen variaciones significativas en los resultados obtenidos en comparación con la caracterización manual, esto se debe a las instancias de los cálculos de las densidades y pesos específicos realizados por Worrell en el 2011, el principal problema es que los datos de densidades y pesos unitarios no son de nuestro medio, lo cual conlleva a la variación en la comparación de los resultados *Tabla 8*.

En la caracterización fotogramétrica de los RSM utilizando las tablas de la literatura, en algunos casos existen variaciones significativas, tal es el caso de los metales ferrosos, papel y periódico, de los cuales los volúmenes utilizados para el cálculo de sus respectivas densidades son pronunciados, lo cual nos da un aumento de los pesos obtenidos. La variación de los pesos obtenidos aumenta el porcentaje de error al momento de comparar con la caracterización manual.

Se demostró que al momento de realizar la fotogrametría, emergen algunos problemas, porque el análisis se realiza tomando como referencia una fotografía a la cual se debe analizar todos los materiales que se encuentran en la misma, lo que implica predecir algunas longitudes de los artículos que se encuentran en la imagen.

El otro inconveniente es que al momento de realizar los cálculos se debe predecir la altura a la que se encuentra el material en la fotografía, por lo cual la mayoría de datos obtenidos están expresados en g/cm^2 , para reducir este error. Los datos expresados en g/cm^2 , nos ayudó a predecir la altura a la que se encuentra el material dentro de la fotografía, ya que el ancho y el largo del material ya fue encontrado, en la literatura los datos solo tiene una dimensión por lo cual nos da un mayor error al momento de predecir las dos dimensiones dentro de la

fotografía.

En las categorías analizadas mediante la caracterización fotogramétrica con respecto a la caracterización manual, se demostró que en algunas categorías adquirieron una variación significativa, tal es el caso de la materia orgánica mixta que tiene el mismo peso que el obtenido en la caracterización manual, dándonos un peso de 4,7 kg con respecto a la muestra total. En el caso de los textiles hubo una variación pronunciada de los datos dándonos un valor de 2,5 kg en comparación con el valor obtenido en la caracterización manual que fue de 0,1 kg. Se demostró también que las diferencias entre los resultados de caracterización manual y fotogramétrico no solo se debe a la diferencia de densidades y pesos unitarios, si no también a que al momento de esparcir la muestra sobre un área determinada para el análisis, regularmente algunas partes de los materiales quedan descubiertos y otros cubiertos entre sí, entonces en este caso, la mayor cantidad de textiles estaban descubiertos en comparación con las demás categorías, lo cual influye en el cálculo de los respectivos pesos de las categorías.

En la comparación de la caracterización manual frente a la caracterización fotogramétrica realizadas con las tablas de la literatura *Tabla 8*, los porcentajes de error más relevantes encontrados fueron los textiles, plásticos, metales, papel y cartón, la categoría “otros”, metal, madera, desechos electrónicos y desechos de jardín, dándonos un porcentaje de error de 2400%, 81,8%, 212,5%, 900%, 66,7%, 50%, 95% y 66,7% respectivamente. Las categorías con menos porcentaje de error fueron; la materia orgánica mixta con un 2,5% y el vidrio con 16,7%.

Dentro de los RSM de nuestro medio se encontró la categoría de desechos electrónicos, la cual no existe en las tablas de la literatura, por ende no se pudo comparar esta categoría entre la caracterización manual frente la caracterización fotogramétrica con los datos de la literatura.

Al disponer de densidades y pesos unitarios de RSM de la ciudad de Cuenca, se



demonstró que la comparación entre la caracterización manual frente a la fotogramétrica con los datos del estudio se acerca más a la realidad *Tabla 23*.

Realizando la comparación de la caracterización manual frente a la caracterización fotogramétrica utilizado los datos del estudio, se pudo observar que los valores son más exactos en comparación con la caracterización fotogramétrica realizada con las tablas de la literatura. Los porcentajes de error más pronunciados son de las categorías metales, desechos electrónicos y textiles con un porcentaje de error del 91,7%, 90% y 70% respectivamente; las demás categorías tienen valores de error bastante bajos, tal es el caso de la madera y la categoría “otros” que tienen un porcentaje de error del 0%.

En la comparación de la caracterización fotogramétrica realizada con las tablas de la literatura y las tablas del estudio, los porcentajes de error son muy pronunciados en las categorías desechos de jardín, desechos electrónicos, madera, metales, la categoría “otros”, papel y cartón, plástico, textiles y vidrio dándonos un porcentaje de error de 300%, 1000%, 100%, 75%, 90%, 64%, 68,4%, 98,8% y 40% respectivamente. En el caso de la categoría materia orgánica mixta, el porcentaje de error es bajo, con un 19,1%.

Como se planteó en la investigación, la obtención de las densidades de los RSM, nos permitió a obtener resultados más cercanos a la realidad aplicando el método de fotogrametría. Se obtuvo las bases para una investigación a futuro sobre automatización de un programa de caracterización fotogramétrica mediante redes neuronales “inteligencia artificial” en la cual la base de datos, son las densidades y pesos unitarios.

7 RECOMENDACIONES

Dado que el cálculo del peso de cada artículo va a depender directamente del área, se recomienda utilizar algún tipo de software que ayude a obtener con mayor precisión el área de dicho artículo. Para este estudio se utilizó un software de diseño asistido por computadora (CAD), que fue de gran ayuda para la obtención de las áreas de los diferentes artículos.

Durante la caracterización fotogramétrica, al momento de obtener las áreas, algunos objetos no están completamente visibles, lo que conlleva a errores en el cálculo del peso total del artículo, para evitar este problema se recomienda aumentar la superficie en donde se esparce la muestra al momento de tomar la fotografía, hasta que toda la muestra quede bien esparcida sin que ningún artículo quede cubierto.

En cuanto a la obtención de los pesos de los artículos irregulares, tales como la materia orgánica mixta, la categoría “otros”, desperdicios de madera como aserrín, se requiere también estimar una altura, para poder calcular su volumen. Para ello se recomienda estimar alturas adecuadas para cada artículo, la altura que se recomienda para calcular el volumen ocupado por el artículo, debe estar entre 1 a 2 cm. Con alturas superiores al momento de obtener los pesos de estas categorías descritas, los pesos que se obtienen van a ser altos.



8 BIBLIOGRAFÍA

Bustán, C. (2011). Análisis estadístico de producción de residuos sólidos urbanos (RSU) y reciclaje en el relleno sanitario de la ciudad de Loja.

Braulio, C. (2005). Principios básicos de la fotogrametría actual. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatecno México, D.F.

Carrillo, C., Daza, C., Múnera, H., Fajardo, F. (2001). SISTEMAS NO INERCIALES Y FUERZA DE FLOTACIÓN. Rev. Colomb. Fis. 33, 268.

CELADE, Economic Commission for Latin America and the Caribbean. (2005). Dinámica demográfica y desarrollo en América Latina y el Caribe: proyecto regional. CEPAL: Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE), División de Población, Santiago de Chile.

Del Val Melus. (1985). Estudio de laboratorio para la caracterización como material de firmes de carreteras de los plástico procedentes del tratamiento de residuos sólidos urbanos, Universidad Politécnica de Madrid, E.TS. De ingenieros de caminos y puertos. Madrid, España.

EMAC, Empresa Municipal del Aseo. (2014). [WWW Documento], n.d. URL http://www.emac.gob.ec/?q=page_directorio (accessed 9.16.14).

Guerrero, N.Z., y Polo. (2005). Agricultura Técnica - Evaluación de Corteza de Pino y Residuos Urbanos como Componentes de Sustratos de Cultivo [WWW Document]. URL <file:///C:/Users/Usuario%20MC/Documents/TESIS/Agricultura%20T%C3%A9cnica%20%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20Corteza%20de%20Pino%20y>



%20Residuos%20Urbanos%20como%20Componentes%20de%20Sustratos%20de%20Cultivo.htm (accessed 2.13.14).

INEC, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). Resultados del Censo de Población y Vivienda en el Ecuador, Fascículo Provincial Azuay. Ecuador.

LOOR, A., 2009. Proyecto Investigación 2009-Diagnóstico De La Situación Ambiental Actual De Manejo De Los Desechos Sólidos En Loja. Escuela Superior Politécnica Litoral. Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencia del Mar. FIMCM.

MAE, Ministerio Del Ambiente. (2014). Programa “PNGIDS” Ecuador [WWW Document], n.d. URL <http://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/> (accessed 9.15.14).

ONU. (2013). World Population Prospects (Perspectivas de la Población Mundial). “La población mundial alcanzará los 9.600 millones en 40 años” – RT [WWW Document], n.d. URL <http://actualidad.rt.com/actualidad/view/97314-poblacion-mundial-crecimiento-onu> (accessed 10.22.14).

OPS, Organización Panamericana de la Salud. (2002), División Salud y Ambiente. Análisis sectorial de residuos sólidos. Ecuador.

P.A., y Rodríguez, R. (2008). Evaluación y prevención de riesgos Ambientales en Centroamérica, ISBN: ISBN: 978-84-96742-37-6. Documenta Universitaria. Girona, España.

Portes, T., Leticia, F. (2012). Estudio de tres casos donde se aplican técnicas de P+ L Para la empresa de servicios industriales grupo químico Torres, GQT SA.



- Pierini, V., Ratto, S., Avedissan, F., Zubillaga, M., Arancio, J. (2010). Propiedades físicas de un compost obtenido a partir de residuos de poda. Rev Fac. Agron. UBA 30, 95–99.
- Runfola, J., Gallardo, A. (2009). Análisis comparativo de los diferentes métodos de caracterización de residuos urbanos para su recolección selectiva en comunidades urbanas, in: II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Barranquilla, Colombia
- TULAS, Texto Unificado de la Legislación Ambiental. (2005). Libro VI de la Calidad Ambiental. Ecuador.
- Tonelli, M. (2013). Sistema de codificación de los materiales plásticos (basado en la NORMA IRAM 13700). Centro de Información Técnica. Argentina.
- Valenzuela, O., Lallana, V., Guerrero, A. (1998). Caracterización física y química de lombricompuestos originados a partir de residuos de conejeras, estiércol vacuno y residuos domiciliarios. Rev. Cient 2, 45–48.
- Worrell, P. Vesilind. (2011). Solid Waste Engineering. [WWW Document], n.d. URL http://books.google.es/books?id=DOmQ2hAxooC&printsec=frontcover&dq=SOLID+WASTE+ENGINEERING&hl=es&sa=X&ei=TJ0wU8GROaKm0gHP_4GgDg&ved=0CDUQ6AEwAA#v=onepage&q=SOLID%20WASTE%20ENGINEERING&f=false (accessed 3.24.14)
- WWF, World Wildlife Fund. 2010. Plan de Manejo de Desechos para las Islas Galápagos.
- Zaror. (2000). Introducción a la ingeniería ambiental para la industria de procesos, Universidad de Concepción, Departamento de ingeniería química. Concepción, Chile.



9 GLOSARIO DE TERMINOS.

Compost: la palabra compost viene del latín *componere*, que significa juntar; por lo tanto compost es la reunión de un conjunto de restos orgánicos que sufre un proceso de transformación.

Degradabilidad: característica de una sustancia inorgánica de descomponerse en sus elementos integrantes no por acción de factores biológicos sino medioambientales.

Densidad: es una de las propiedades de los sólidos, líquidos y gases es la medida del grado de compactación de un material.

Densidad aparente: es la relación entre el volumen y el peso seco, incluyendo huecos y poros.

Disposición final: es la última etapa en el manejo de RSM y comprende al conjunto de operaciones destinadas a lograr el depósito permanente de los Residuos Sólidos Municipales.

EMAC-EP: Empresa Municipal de Aseo de Cuenca - Empresa Pública.

Fotogrametría: es el conjunto de técnicas, instrumentales y matemáticas, que permite obtener coordenadas tridimensionales de un objeto, a partir de la información bidimensional extraída de una o varias fotografías.

HDPE: polietileno de alta densidad.

Incineración: es la combustión completa de la materia orgánica hasta su transformación en cenizas, usada en el tratamiento de basuras.

L: litro.

Li-Ion: batería de polímeros de litio.

LDPE: polietileno de baja densidad.

Misceláneos: materia compuesta de cosas distintas.



Picnómetro: es una botella de gravedad específica, que se utiliza para determinar las densidades de distintas sustancias.

Polímeros de baja densidad: son macromoléculas compuestas por una o varias unidades químicas que se repiten a lo largo de toda una cadena.

PVC: policloruro de vinilo, es un polímero obtenido de dos materias primas naturales cloruro de sodio y el gas natural.

PET: polietileno tereftalato.

PS: poliestileno.

PP: polipropileno.

Residuo sólido Municipal (RSM): desperdicios o desechos generados por el hombre en actividades domésticas e industriales y que constituyen un problema ambiental. También se definen como *“los residuos producidos en los domicilios particulares, comercios, oficinas y edificios públicos”*.

SIM: módulo de Identificación de Abonado.

Ton: tonelada.



10 ANEXOS.

Anexo A. Densidades y pesos unitarios utilizados para la caracterización fotogramétrica obtenidas por Worrell en el 2011.

MADERA

Material	Tamaño	Estudio	Peso (kg)
Madera, Virutas	1 pie cúbico	FEECO	6,8
Madera contrachapada, lámina 2 'X4 '	1 yarda cúbica	Tellus	1711,7

METALES- ALUMINIO

Material	Tamaño	Estudio	Peso (kg)
Latas de aluminio, sin triturar	1 caso =24 latas	USEPA	0,4

METALES- FERROSOS

Material	Tamaño	Estudio	Peso (kg)
Chatarra	55 galones	USEPA	103
Lata ferrosos	# 2,5	USEPA	0,1

MISCELÁNEOS

Material	Tamaño	Estudio	Peso (kg)
Cartucho de tóner	.	USEPA	1,1

ORGÁNICOS

Material	Tamaño	Estudio	Peso (kg)
Hierba y hojas	3 yardas cúbicas	USEPA	147,4
Residuos, mezclado, suelto	1 yarda cúbica	Tellus	654,4

PAPEL Y CARTÓN

Material	Tamaño	Estudio	Peso (kg)
OCC, caja, pequeña	12 "X12 "X15"	USEPA	0,5
Papel de oficina	13 galones	USEPA	4,5
Periódicos	1 pie cúbico	FEECO	17,3
Pisos de huevo	Una docena	USEPA	0,05



PLÁSTICO

Material	Tamaño	Estudio	Peso (kg)
Bolsa de supermercado de plástico	100 bolsas	USEPA	0,3
Plástico, 1 litro de bebidas PETE botella	1 litro	USEPA	0,04
Plástico, PETE, 2 litros	1 botella	USEPA	0,06
Poli estireno, espuma	1 yarda cúbica	Tellus	4,4

TEXTIL

Material	Tamaño	Estudio	Peso (kg)
Tela	yarda cuadrada	USEPA	2,2

VIDRIO

Material	Tamaño	Estudio	Peso (kg)
Vidrio, bebidas-8 oz	1 botella	USEPA	0,2
Vidrio, ventana	1 pie cúbico	FEECO	69,1

Fuente: (Worrell, 2011)

Anexo B. Fortuitos de Densidades y Pesos Unitarios**PLÁSTICOS**

Artículo	Capacidad	Unidad	Peso	Unidad
Botella HDPE para champú.	200	ml	30,2	g
Botella HDPE para alcohol antiséptico.	500	ml	33,74	g
Botella PET para bebida.	410	ml	25,36	g
Botella PET para aceite de cocina.	740	ml	28,22	g
Botella PET para agua pura.	1	L	27,03	g
Botella PET para agua pura.	6	L	109,4	g
Botella PET para bebida energizante.	200	ml	26,84	g
Botella PET para bebida energizante.	365	ml	24,11	g
Botella PET para bebida energizante.	600	ml	38,65	g
Botella PET para bebida.	1,350	L	39,93	g
Botella PET para bebida.	1,6	L	48,05	g
Botella PET para bebida.	2	L	109,99	g
Botella PET para bebida.	3	L	59,74	g
Botella PET para bebida.	400	ml	21,24	g
Botella PET para Jugo	500	ml	23,68	g
Botella PET para jugo.	1,750	L	44,73	g
Botella PET para jugo.	250	ml	17,75	g
Botella PVC para detergente.	290	ml	39,19	g
Envase HDPE para de Yogurt.	980	g	47,36	g
Envase HDPE para Yogurt.	120	g	14,91	g
Envase HDPE para Yogurt.	200	g	29,29	g
Envase PET para pasta dental.	63	ml	46,6	g
Envase PP para jabón lavavajillas.	500	ml	16,38	g
Funda LDPE para aceite de cocina.	200	ml	6,01	g
Funda LDPE para leche.	1	L	9,77	g
Plato PS para comidas.	1,5	L	6	g
Plato tendido PS para comidas.	176	ml	5	g
Vaso de polipropileno para bebidas.	158	ml	2,72	g
Vaso térmico de PS para bebidas.	180	ml	2,81	g

**PLÁSTICOS**

Artículo	Largo	Ancho	Espesor	Unidad	Peso	Unidad
Bloque de poliestireno expandido.	7,7	11	0,1	cm	1,22	g
Caja para CD PP.	14,25	12,5	0,51	cm	45,79	g
Caja para DVD PP.	19,24	13,62	0,61	cm	74,11	g
Esponja para embalaje.	35,5	13,4	0,25	cm	1,91	g
Esponja para muebles.	10,48	6,32	2,03	cm	2,1	g
Funda LDPE para supermercado.	46	31	0,03	cm	8,32	g
Fundas LDPE pequeños para supermercado.	35	22,5	0,0093	cm	2,37	g
Fundas plástica LDPE para basura.	69	57,5	0,015	cm	17,85	g
Lámina de acrílico para carteles publicitarios.	14,54	5,54	0,33	cm	27,36	g
Regla escolar LDPE	30	2,42	0,2	cm	11,35	g
Tragaluz de PVC para cubierta de techos.	18,2	14	0,25	cm	34,7	g

PLÁSTICOS

Artículo	Diámetro	Largo	Espesor	Unidad	Peso	Unidad
CD	12	-	0,12	cm	14,56	g
Esfero punta fina.	0,83	14,24	-	cm	4,6	g
Tubería PVC.	1,83	11,29	-	cm	9,51	g
Tubería PVC.	5	9,76	-	cm	41,62	g

PAPEL

Artículo	Largo	Ancho	Espesor	Unidad	Peso	Unidad
Cartulina.	44,3	24,3	0,037	cm	16,23	g
Hoja de periódico.	56	32	0,03	cm	17,92	g
Hoja de periódico.	63	56	0,03	cm	17,64	g
Papel bond.	29,4	20,8	0,09	cm	33,18	g
Papel bond.	21,1	15	0,022	cm	3,01	g
Papel ministro	32	22	0,01875	cm	8,07	g
Papel para fotografía.	15,14	10,23	0,025	cm	3,52	g
Pliego de papel periódico.	130	90	0,016	cm	58,31	g
Tira de papel higiénico doble hoja.	11,13	9,6	0,35	cm	0,031	g
Volante de papel plastificado para	21,04	14,72	0,018	cm	4,65	g



publicidad.

Volante de papel prensa para

publicidad.

14,48 10,49 0,018 cm 1,06 g

PAPEL

Artículo	Largo	Ancho	Unidad	Numero de hojas/páginas	Peso	Unidad
Cuaderno universitario	28	20,2	cm	100 hojas	349,21	g
Cuaderno universitario	28	20,2	cm	200 hojas	583,08	g
Directorio telefónico	26,4	22,4	cm	1270 páginas	1669,39	g
Directorio telefónico	26,4	22,4	cm	598 páginas	805,85	g
Directorio telefónico	26,4	22,4	cm	672 páginas	863,55	g
Periódico	55,6	31,6	cm	6 hojas	75	g
Periódico	62,7	57,8	cm	5 hojas	85	g
Revista de papel prensa	27,4	23,2	cm	156 páginas	370,8	g
Revista de papel brillante	26,7	20,9	cm	132 páginas	279,45	g
Revista de papel prensa.	25,5	23	cm	156 páginas	380,2	g
Revista de papel brillante	27,9	21	cm	52 páginas	187,1	g
Revista de papel brillante.	22,9	17,3	cm	156 páginas	332,1	g
Revista de papel prensa	27,5	21	cm	52 páginas	98,4	g
Revista de papel plastificado	29,6	20,9	cm	304 páginas	1112,76	g
Revista de papel plastificado	26,9	18,9	cm	204 páginas	391,9	g
Revista de papel plastificado	27,4	23,2	cm	244 páginas	756,3	g

CARTÓN

Artículo	Largo	Ancho	Espesor	Unidad	Peso	Unidad
Carpeta de cartón	34	24,3	0,0450	cm	25,24	g
Cartón para tubo de papel higiénico.	15,24	9,28	0,065	cm	5,4	g
Cubeta para 12 huevos	30	29,5	4,5	cm	60	g
Fragmento cartón.	11,02	6,83	0,8	cm	14,23	g
Fragmento cartón.	12,03	9,66	0,05	cm	5,8	g
Fragmento cartón.	12,42	7,85	0,5	cm	10,33	g



Fragmento cartón.	14,14	7,93	0,1	cm	7,51	g
Fragmento cartón.	17	6,83	0,24	cm	30,59	g

CARTÓN

Artículo	Capacidad	Unidad	Peso	Unidad
Envase tetrapak	250	ml	13,6	g

METAL

Aluminio

Artículo	Capacidad	Unidad	Peso	Unidad
Envase para desodorante.	160	ml	48,01	g
Envase para desodorante.	165	ml	55,69	g
Envase para jugo.	240	ml	11,91	g
Envase para cerveza.	330	ml	12,75	g
Envase para cerveza.	355	ml	13,27	g

METAL

Aluminio

Artículo	Largo	Ancho	Espesor	Unidad	Peso	Unidad
Lámina de aluminio	3,44	2,48	0,19	cm	2,32	g
Lámina de techo	6,87	2,85	0,12	cm	7,2	g
Papel aluminio	31	24,5	0,03	cm	5	g

METAL

Ferroso

Artículo	Capacidad	Unidad	Peso	Unidad
Envase para pintura en aerosol.	400	ml	108,14	g
Lata para sardina.	156	g	28,47	g
Lata para atún.	180	g	29,92	g
Lata para atún.	80	g	22,03	g



METAL

Ferroso

Artículo	Largo	Ancho	Espesor	Unidad	Peso	Unidad
Ángulo de platina de hierro	13,05	2,32	0,31	cm	121,1	g
Lámina de acero Inoxidable	4,82	4,22	0,19	cm	9,1	g
Platina de hierro	16,72	1,22	0,31	cm	42	g
Platina de hierro	7,64	1,98	0,31	cm	35,7	g
Platina de hierro	16,86	2,17	0,31	cm	93,6	g
Platina de hierro	16,52	2,55	0,31	cm	152,9	g

METAL

Ferroso

Artículo	Diámetro	Largo	Unidad	Peso	Unidad
Tubería de acero inoxidable	3,81	8,05	cm	104,81	g
Tubería de hierro	2,32	6,92	cm	14,62	g
Tubería de cobre	1,685	7,46	cm	20,62	g
Varilla de hierro corrugada	0,91	12,71	cm	49,53	g
Varilla de hierro corrugada	1,22	12,51	cm	104,81	g
Varilla de hierro lisa	0,55	15,26	cm	27,6	g

VIDRIO

Artículo	Capacidad	Unidad	Valor	Unidad
Botella para cerveza.	330	ml	220,1	g
Botella para cerveza.	600	ml	441,2	g
Botella para bebida.	750	ml	719,4	g
Envase para bebida energizante.	473	ml	232,7	g
Envase para perfume.	100	ml	181,8	g
Envase para jugo de fruta.	320	ml	185,2	g

VIDRIO

Artículo	Ancho	Largo	Espesor	Unidad	Peso	Unidad
Vidrio protector contra el sol para ventana.	5,3	14,8	0,7	cm	113,7	g



DESECHOS DE CONSTRUCCIÓN

Artículo	Peso Pic.	Peso Muest.	Pic. + Mues.	Pic. + H2O	Pic. + Mues. + H2O	Unidad	Densidad	Unidad
Concreto seco.	847	911	1758	4420	4922	g	2,2	g/cm3
Grava	701,4	970	1672	3137	3728	g	2,6	g/cm3
Asfalto.	702	646	1348	3157	3527	g	2,3	g/cm3
Bloque.	702	331	1033	3157	3252	g	1,4	g/cm3
Baldosa	702	390	1092	3157	3380	g	2,3	g/cm3
Agregado fino.	702	965	1667	3157	3738	g	2,5	g/cm3

DESECHOS DE CONSTRUCCIÓN

Artículo	Ancho	Largo	Espesor	Unidad	Peso	Unidad
Adoquín	11,6	13,6	6	cm	1935	g
Ladrillo	11,1	23,3	6,8	cm	2638	g
Ladrillo macizo	13	20	7,6	cm		g

DESECHOS ELECTRÓNICOS

Artículo	Ancho	Largo	Espesor	Unidad	Peso	Unidad
Tarjeta electrónica para transporte público.	8,5	5,5	0,1	cm	5,6	g
Tarjeta SIM para celular.	1,5	2,5	0,2	cm	0,3	g
Batería Li-Ion para celular.	3,4	5,4	0,7	cm	21,5	g
Batería Li-Ion para celular.	5,1	6	0,4	cm	27,2	g



DESECHOS ELECTRÓNICOS

Artículo	Diámetro	Largo	Unidad	Peso	Unidad
Pilas A	3,3	6,1	cm	134,5	g
Pilas AA	1,5	5,1	cm	16,1	g
Pilas AAA	1,03	4,4	cm	11,4	g

TEXTILES

Artículo	Ancho	Largo	Espesor	Unidad	Peso	Unidad
Cuero	9,7	19,2	0,15	cm	9,4	g
Yute	8,9	13,5	0,05	cm	1,7	g
Franela	12,0	17,0	0,04	cm	3,7	g
Tela de poliéster	7,3	11,9	0,07	cm	1,9	g
Tela de nylon	12,2	12,3	0,03	cm	9,0	g
Tela de mezclilla o demin	12,4	13,3	0,06	cm	5,7	g
Tela de algodón.	4,5	7,0	0,21	cm	5,6	g
Tela de poliéster	9,6	26,4	0,04	cm	6,3	g

OTROS

Artículo	Peso Pic.	Peso Muest.	Pic. + Mues.	Pic. + H2O	Pic. + Mues. + H2O	Unidad	Densidad	Unidad
Otros (polvos, cerilla, colillas de cigarrillos, envolturas)	701,7	368,8	1069,8	3157	3263	g	1,4	g/cm3

OTROS

Artículo	Valor	Unidad
Colilla de cigarrillo	0,2	g
Envolturas de caramelos	1,4	g
Palos de chupetes	0,7	g
Polvos y pelusas	8,7	g
Cerilla de fosforo	0,05	g



MATERIA ORGÁNICA

Artículo	Peso Pic.	Peso Muest.	Pic. + Mues.	Pic. + H2O	Pic. + Mues. + H2O	Unidad	Densidad	Unidad
Estiércol	702	301	1003	3157	3101	g	0,84	g/cm3
Materia orgánica mixta	702	681	1382	3157	3172	g	1,02	g/cm3
Desechos de Jardín	702	82	784	3157	3078	g	0,51	g/cm3

MATERIA ORGÁNICA

Artículo	Valor	Unidad
Arroz	17,1	g
Cáscara de una banana	34	g
Cáscara de un huevo	7,3,	g
Cáscaras de papas	55	g
Cáscaras de plátano	97	g
Cáscaras de tomate	20,8	g
Pan mixto de queso	51,7	g

Anexo C. Caracterización fotogramétrica utilizando las densidades y pesos unitarios obtenidos en el estudio.

CATEGORÍA						DATOS DEL ESTUDIO				
		AREA m2	%	Altura (m)	Volumen (m3)	Dato	Unidad	Densidad (kg/m3)	Cálculo	Unidad
Desechos de Jardín		0,08		0,01	0,001			509,3	0,42	kg
Desechos electrónicos	Pila tipo A.	0,00	0,09			0,13	kg		0,01	kg
Madera	Aserrín del resultado del cepillado con máquina.	0,02		0,01	0,0002			700	0,11	kg
	Pieza de madera cedro de 1,5 cm de espesor	0,02		0,02	0,0003	8	kg/m2		0,14	kg
Materia orgánica mixta		0,55	24,5	0,01	0,01			1022,6	5,64	kg
Metales	Envase de 330 ml para cerveza.	0,01	0,4			0,01	kg		0,01	kg
	Lata con capacidad de 80 gr para atún	0,01	0,6			0,02	kg		0,01	kg
	Lata con capacidad de 156 gr para sardina	0,01	0,5			0,03	kg		0,01	kg
	Envase de 400 ml para pintura en aerosol	0,01	0,56			0,11	kg		0,06	kg
	Envase de 240 ml para jugo	0,00	0,12			0,01	kg		0,00	kg
	Platina de hierro de 2 cm de ancho y 1,1 cm de espesor	0,00	0,16	0,01	0,00004	12	kg/m2		0,04	kg
Otros		0,02	0,84	0,01	0,0001			1404,43	0,13	kg
Papel y Cartón	Cubeta para 12 huevos de 29,5 x 30 x 4,5 cm	0,02	0,98			1	kg/m2		0,02	kg
	Fragmento de cartón corrugado para transportar electrodomésticos pequeños como licuadoras, fragmento de 7,9 cm x 12 cm x 0,2 cm	0,04	1,93			1	kg/m2		0,04	kg
	Carpeta de cartón tamaño B4	0,06	2,66			0,3	kg		0,67	kg
	Papel bond tamaño A4	0,31	13,71	0,01	0,002	1	kg/m2		0,15	kg
	Hoja de periódico de 32 cm de ancho y 56 cm de largo	0,02	0,80	0,001	0,00002	0,01	kg/m2		0,00	kg
Plástico	Botella PET de 3 L para bebida	0,04	1,95			0,06	kg		0,12	kg
	Botella PET de 740 ml para aceite de cocina	0,01	0,40			0,03	kg		0,01	kg
	Botella PET de 1,6 L para bebida	0,02	0,95			0,05	kg		0,05	kg
	Botella PET de 1,750 L para Jugo	0,09	4,05			0,04	kg		0,18	kg
	Botella HDPE de 500 ml para alcohol antiséptico	0,01	0,44			0,03	kg		0,01	kg
	Funda plástica LDPE para supermercado de 46 cm x 31 cm x 0,03 cm	0,09	4,01			0,1	kg/cm2		0,01	kg
	Envase HDPE de 200 gr para Yogurt	0,02	0,95			0,03	kg		0,03	kg
	Bloque de poliestireno expandido de 7, 7 cm x 11 cm x 0,1 cm.	0,01	0,61	0,15	0,002			100	0,21	kg
	CD de 12 cm de diámetro y 0,12 cm de espesor	0,01	0,52			0,01	kg		0,01	kg
Textiles	Tela de nylon de 12,2 cm x 12,3 cm x 0,03 cm.	0,03	1,36			1	kg/m2		0,03	kg
Vidrio	Envase de 473 ml para bebida energizante	0,01	0,62			0,23	kg		0,14	kg
	Botella de 600 ml para cerveza	0,02	1,04			0,44	kg		0,46	kg
	Vidrio protector contra el sol de 5,3 cm x 14,8 cm x 0,7 cm para ventana	0,01	0,41	0,01	0,00006			2100	0,14	kg

Anexo D. Caracterización fotogramétrica utilizando las densidades y pesos unitarios disponibles en la literatura.

CATEGORÍA					DATOS DE LA LITERATURA					
	AREA m2	%	Altura (m)	Volumen (m3)		Dato	Unidad	Densidad (kg/m3)	Cálculo	Unidad
Desechos de Jardín	0,08		0,01	0,001	Hierba y hojas			64,2	0,05	kg
Desechos electrónicos	0,00	0,09				0,09			0,01	kg
Madera	0,02		0,01	0,0002	Madera, Virutas			8,9	0,00	kg
	0,02		0,02	0,0003	Madera contrachapada, lámina 2 'X4			464,3	0,12	kg
Materia orgánica mixta	0,55	24,5	0,01	0,01	Residuos, mezclado, suelto			855,5	4,72	kg
Metales	0,01	0,4			Latas de aluminio, sin triturar	0,4	kg		0,16	kg
	0,01	0,6			Lata ferrosos	0,1	kg		0,06	kg
	0,01	0,5			Lata ferrosos	0,1	kg		0,05	kg
	0,01	0,56			Lata ferrosos	0,1	kg		0,06	kg
	0,00	0,12			Latas de aluminio, sin triturar	0,4	kg		0,05	kg
	0,00	0,16	0,01	0,00004	Chatarra			490,5	0,02	kg
Otros	0,02	0,84	0,01	0,0001	Cartucho de tóner	1,13	kg		0,95	kg
Papel y Cartón	0,02	0,98			Pisos de huevo	0,05			0,05	kg
	0,04	1,93			OCC, caja, pequeña	0,5	kg		0,96	kg
	0,06	2,66			OCC, caja, pequeña	0,5	kg		1,33	kg
	0,31	13,71	0,01	0,002	Papel de oficina			90	0,14	kg
	0,02	0,80	0,001	0,00002	Periódicos			576,7	0,01	kg
Plástico	0,04	1,95			Plástico, PETE, 2 litros	0,1	kg		0,11	kg
	0,01	0,40			Plástico, 1 litro de bebidas PETE botella	0,04	kg		0,02	kg
	0,02	0,95			Plástico, PETE, 2 litros	0,1	kg		0,06	kg
	0,09	4,05			Plástico, PETE, 2 litros	0,1	kg		0,24	kg
	0,01	0,44			Plástico, 1 litro de bebidas PETE botella	0,04	kg		0,02	kg
	0,09	4,01			Bolsa de supermercado de plástico	0,3	kg		1,40	kg
	0,02	0,95			Plástico, 1 litro de bebidas PETE botella	0,04	kg		0,04	kg
	0,01	0,61	0,15	0,002	Poli estireno, espuma			5,7	0,01	kg
	0,01	0,52			Plástico, PETE, 2 litros	0,1	kg		0,03	kg
Textiles	0,03	1,36			Tela	2,2	kg		2,98	kg
Vidrio	0,01	0,62			Vidrio, bebidas-8 oz	0,2	kg		0,14	kg
	0,02	1,04			Vidrio, bebidas-8 oz	0,23	kg		0,23	kg
	0,01	0,41	0,01	0,00006	Vidrio, ventana			2303,3	0,15	kg